

SOMMAIRE :

Résumé :	2
Abstract:	3
I. Introduction :	7
II. Contexte d'étude :	9
1. Biologie du bénitier :	9
a. Phylogénie des bénitiers :	9
b. Répartition géographique :	9
c. Morphologie et anatomie :	10
d. Alimentation :	11
e. Reproduction et cycle de vie :	12
2. <i>Tridacna maxima</i> :	13
a. Description de l'espèce :	13
b. <i>T. maxima</i> en Polynésie française :	13
3. L'exploitation des bénitiers :	14
4. Elevage et projets de réensembllements :	14
a. Le collectage en Polynésie française :	15
b. L'élevage en Polynésie française :	15
c. Réensembllements réalisés en Polynésie française :	16
d. Tahiti Eco Clams :	17
III. Matériels et méthodes :	18
1. Transport local de bénitiers (inter-îles), stabulation :	18
2. Transport international :	19
3. Réensembllement :	20
a. Matériels utilisés :	20
b. Site de réensembllement :	20
c. Déroulement du réensembllement :	21
IV. Résultats :	22
1. Analyses du transport local :	22
2. Analyses du transport international :	27
3. Expérimentation de réensembllement :	27
a. Résultats des paramètres physico-chimiques des milieux étudiés:	29
V. Discussion :	32
1. Transport local et stabulation :	32
2. Transport international :	37
3. Réensembllement :	38
VI. Conclusion :	40
VII. Bibliographie :	42

Figure 1 : répartition des différentes espèces de bénitiers (Othman <i>et al.</i> , 2010), les triangles correspondent à des enregistrements de contrôle de récif, et les espèces ne sont pas connues.	10
Figure 2 : cycle de vie du bénitier (Teitelbaum et Friedman, 2008)	12
 Tableau 1 : estimations numériques avec intervalle de confiance (poids total et poids de chair des individus > 12cm) de Fangatau, Tatakoto (Tuamotu), et Tubuai (Australes) (Gilbert <i>et al.</i> , 2006).....	13
Tableau 2 : taux de mortalité des bénitiers des différents arrivages en fonction du nombre de jour de stabulation.	22
Tableau 3 : taux de survie des expéditions internationales au bout d'une semaine	27
Tableau 4 : nombre de bénitiers morts en fonction du nombre de jours après la mise en place du repeuplement.	28
Tableau 5 : paramètres physico-chimiques des 2 sites étudiés (bassin de stabulation de la TEC, site de réensemencement de Moorea).....	31
Tableau 6 : tableau synthétique des conditions de transport et des taux de survie des arrivages de bénitiers	32
 Graphique 1 : taux de mortalité des différents arrivages en fonction du nombre de jour de stabulation.	23
Graphique 2 : taux de survie des différents arrivages lors de la première semaine de stabulation.	24
Graphique 3 : taux de survie des arrivages en fonction de la disposition des bénitiers dans la glacière.	24
Graphique 4 : taux de survie de l'arrivée du 4 mai en fonction de la disposition dans la glacière.	25
Graphique 5 : taux de survie de l'arrivée du 22 juin en fonction du nombre de packs de gel par glacière (GP).	26
Graphique 6 : taux de survie des bénitiers repeuplés en fonction du lot (nombre de packs de gel).....	29
Graphique 7 : activité lumineuse des 2 milieux étudiés entre le 16-07 et le 17-07 (bassin de stabulation de la TEC, site de réensemencement de Moorea).....	30
Graphique 8 : variation de la luminosité sur le site de réensemencement entre 6h et 15h30 le 17-07.....	31
Graphique 9 : taux de survie des bénitiers des différents arrivages (celui du 4 mai avec isolation fine, et la moyenne des autres avec isolation épaisse), en fonction du niveau dans la glacière après une semaine de stabulation.....	33
Graphique 10 : boxplot du Test de Mann-Whitney présentant le taux de survie en fonction du nombre de semaine de stabulation.	35
Graphique 11 : comparaison des taux de survie des bénitiers en fonction du milieu étudié (bassin de stabulation et site de réensemencement) et du nombre de semaine.	38

I. Introduction :

Le bénitier est une ressource exploitée sur une grande partie du globe, sur différents océans, au sein de nombreux pays. Il est utilisé pour l'alimentation essentiellement destiné au marché asiatique, notamment par la consommation des muscles adducteurs des espèces les plus grosses comme *Tridacna gigas*. Concernant les espèces plus petites comme *Tridacna maxima*, et *Tridacna derasa*, leur exploitation est principalement destinée au marché de l'aquariophilie, de par leur diversité exceptionnelle de couleurs, allant du bleu, violet, vert, et jaune en passant par le marron.

Dans l'océan pacifique, l'espèce *T. maxima* est exploitée dans la plupart des archipels de Polynésie française. Les densités les plus importantes au monde de cette espèce se trouvent dans l'Est de l'archipel des Tuamotu (cf. annexes : carte 2 page 4). Néanmoins, depuis quelques années, la diminution des stocks de bénitiers dans quelques atolls des Tuamotu et des Australes inquiète le Ministère de la Mer polynésien (Larrue, 2006). Son exploitation par des pêcheurs pratiquant une activité de subsistance et les exportations ont été responsables de l'épuisement de certains stocks naturels (Teitelbaum et Friedman, 2008).

La distribution peu profonde des populations, leur caractère bien visible et leur état sédentaire rendent les bénitiers particulièrement vulnérables à la pêche. Chez ces organismes à reproduction massive, la contribution à la reproduction du stock total dépend beaucoup des zones où les densités sont importantes. Or, c'est précisément dans ces zones que l'effort de pêche est le plus important.

En général, la surexploitation en Polynésie française est liée à une combinaison de facteurs tels que (Gilbert *et al.*, 2006b):

- L'augmentation de la population, des zones habitées, et de la pression de pêche.
- L'augmentation de l'effort de pêche en relation avec l'arrivée de moyens de pêche plus efficaces (bateaux, équipements de plongée).
- Le développement des moyens de conservation, de transport et de communication intra et inter-îles.
- Les difficultés, voire l'absence de réactivité des autorités face aux contrevenants à la réglementation et à la non-durabilité de l'exploitation, surtout dans les zones insulaires.

C'est pourquoi depuis 1983, les bénitiers, toutes espèces confondues, ont été inscrits sur l'annexe II de la CITES au niveau international (convention internationale sur le commerce des espèces en danger). Ils sont considérés comme espèce menacée par l'IUCN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature). Ainsi pour chaque échange commercial, un permis d'exportation au départ et un permis d'importation à l'arrivée sont obligatoires. De plus, une délibération datant de 1988 fixe à 12 cm la longueur minimale de la coquille des bénitiers pour la pêche, le transport, la détention, la commercialisation et la consommation des bénitiers (Gilbert *et al.*, 2006b). Néanmoins, pour *T. maxima* la taille minimale de prélèvement est variable suivant les régions. Elle est de 18 cm à Guam et Niue, de 16 cm aux îles Samoa, de 15.5 cm aux îles Tonga et de 12 cm en Polynésie française (cf. annexes : carte 1 page 3) (Gilbert *et al.*, 2006a).

Les bénitiers sont plus précisément classés comme « espèces qui ne sont pas en danger d'extinction, mais dont le commerce doit être contrôlé dans le but de stopper l'utilisation incompatible avec leur survie ». Mais, de grandes disparités de commercialisation existent selon les pays, et certains rencontrent des difficultés à contrôler la commercialisation des bénitiers. Des extinctions locales affectant plusieurs espèces ont été répertoriées dans les Philippines, en Indonésie, en Micronésie, en Malaisie, et à Singapour (Othman, Goh et Todd, 2010).

La plupart des pêches de bénitiers dans l'océan Indopacifique sont à petite échelle et la gestion communautaire des ressources marines a été proposée comme la meilleure solution pour lutter contre la surexploitation. De plus, l'aquaculture du bénitier offre quant à elle une opportunité de maintenir voir d'augmenter les stocks naturels. Cependant, la participation des communautés est vitale pour que les bénitiers repeuplés soient sauvagardés (Othman, Goh et Todd, 2010).

Le territoire polynésien travaille sur 2 approches ; la première vers une conservation de l'espèce *T. maxima* dans les lagons polynésiens, et la seconde vers un développement de la filière aquacole, en Polynésie française. L'approche de conservation est mise en place grâce à la réalisation de réensemencement en île haute, telle que l'île de Moorea dans l'archipel de la Société. Les conditions environnementales de ces îles sont bien évidemment différentes de celles des atolls, à commencer par des densités de population humaine bien plus importantes, ce qui conduit à des conséquences anthropiques relativement importantes (pollution, eutrophisation, effort de pêche). Ensuite les lagons de ces îles hautes sont nettement plus ouverts que ceux des atolls, ce qui conduit à des échanges plus importants avec l'océan (présence de prédateurs, houle), ils sont aussi plus exposés à l'influence des bassins versants (baisse de salinité).

Nous avons donc réalisé un réensemencement dans le lagon de Moorea, pour analyser les taux de survie des bénitiers repeuplés dans ces zones. Les informations récoltées permettront de mettre en avant l'intérêt de ces réensemencements dans des milieux dans lesquels on ne les trouve plus aujourd'hui ou en très faible quantité.

Concernant le développement de la filière aquacole, nous avons tenté d'améliorer les techniques de transports à deux échelles, locale (inter îles) et internationale. Ainsi, nous avons analysé les taux de survie des différents arrivages de bénitiers en provenance du site de collectage sur l'île de Tatakoto dans l'archipel des Tuamotu (cf. annexes : carte 2 page 4), en fonction de certains paramètres de transports. Une analyse statistique des données récoltées permettra de mettre en évidence une influence relative de certains facteurs sur la survie des bénitiers, tels que la taille des bénitiers, le nombre de bénitiers transportés par arrivage ou encore les variations de température lors du transport. L'amélioration des techniques de transport (notamment pour les acheminements inter îles) est primordiale pour pouvoir développer l'activité commerciale à l'échelle internationale. Ces résultats permettront de réduire les taux de mortalité de ces transports, réduisant ainsi des pertes financières, et permettant l'ouverture de nouveaux marchés pour les aquaculteurs d'îles reculées. Ces études permettront d'identifier la viabilité et la faisabilité de ces projets aquacoles à long terme.

II. Contexte d'étude :

1. Biologie du bénitier :

a. Phylogénie des bénitiers :

Les bénitiers font partie de l'embranchement des mollusques.

- Embranchement : *Mollusca*.
- Classe : *Bivalvia*.
- Ordre: *Veneroidea*.
- Famille: *Cardiacea*.
- Sous-famille: *Tridacnidae*.

A ce jour, 10 espèces de bénitiers ont été répertoriées et réparties en 2 genres :

- Le genre *Hippopus* (H.) : *H. hippopus*, *H. porcellanus*.
- Le genre *Tridacna* (T.) : *T. costata*, *T. crocea*, *T. derasa*, *T. gigas*, *T. maxima*, *T. rosewateri*, *T. squamosa*, *T. tevoroa* (*T. mbalavuana*).

b. Répartition géographique :

Les bénitiers sont les plus grands bivalves présents dans les zones côtières de la région Indopacifique (Teitelbaum et Friedman, 2008). Ils sont répartis dans des habitats constitués de récifs coralliens peu profonds (Todd *et al.*, 2009). Outre les bénitiers foreurs colorés de taille plus petite, tels que *T. maxima* et *T. crocea* que l'on rencontre sur des substrats calcaires, on observe des espèces de plus grande taille, telles que *T. derasa*, *T. gigas* et *T. squamosa*, généralement à proximité des récifs ou sur des fonds sableux. On rencontre quant à lui souvent le genre *Hippopus* sur des substrats mous, comme des herbiers (Teitelbaum et Friedman, 2008). La température de l'eau dans laquelle on les trouve est comprise entre 25°C et 30°C, la salinité est aux environs de 32-35‰, et le pH se situe entre 8,1 et 8,5. La lumière étant une ressource indispensable aux bénitiers, on ne les retrouve pas en dessous de 20 m de profondeur ; exceptée *T. tevoroa* qui est capable de vivre plus profond (Ellis, 1998).

Concernant les répartitions océaniques (visibles sur la figure 1 page suivante), les bénitiers vivent entre le 30° Est et le 120° Ouest (de l'Afrique du Sud à la Polynésie française) et entre le 36° Nord et le 30° Sud (du Japon à l'Australie). On peut constater sur la carte suivante que la plus grande diversité se trouve dans l'océan Indopacifique. *T. maxima* a la distribution la plus cosmopolite, englobant presque l'ensemble géographique de toutes les autres espèces de bénitiers. Au contraire, les espèces découvertes récemment telles que *T. costata*, *T. rosewateri*, *T. tevoroa*, *H. porcellanus* ont les zones géographiques les plus restreintes (Othman, Goh et Todd, 2010).

On trouve 7 espèces en Asie du Sud-est (*T. gigas*, *T. derasa*, *T. squamosa*, *T. crocea*, *T. maxima*, *H. hippopus* et *H. porcellanus*), mais plusieurs de ces populations sont en déclin, ou éteintes. Six espèces sont présentes en Malaisie (*T. crocea*, *T. derasa*, *T. maxima*, *T. squamosa*, *H. hippopus*, *H. porcellanus*) mais uniquement la population de *T. crocea* est stable, alors que *H. porcellanus* et *T. derasa* sont restreints à l'Est de la Malaisie. A Singapour, *H. hippopus* est localement éteint, et *T. maxima*, *T. squamosa* et *T. crocea* sont présents en très faible quantité. En Thaïlande, *T. squamosa* et *T. maxima* sont considérés comme rares (Othman, Goh et Todd, 2010) (cf. annexes : carte 1 page 3).

Pour le Sud et l'Est de la région Indopacifique, les bénitiers, quoiqu'avec une diversité plus faible peuvent être rencontrées en Océanie, Australie, Micronésie, et Polynésie française. La diversité décroît lorsqu'on s'éloigne de l'Australie. On trouve l'espèce naturellement rare, *T. tevoroa*, exclusivement dans un milieu réduit principalement à la barrière de corail des Tonga, et aux îles Fidji (Othman, Goh et Todd, 2010).

A l'Ouest et au Nord, *T. costata*, *T. maxima*, *T. rosewateri* et *T. squamosa* vivent le long des côtes de l'océan Indien. *T. maxima* et *T. squamosa* ont une distribution relativement cosmopolite, alors que *T. costata* et *T. rosewateri* sont respectivement restreints au Nord de la mer Rouge et à l'île Maurice. Le Japon représente quant à lui la limite Nord de la répartition des bénitiers (Othman, Goh et Todd, 2010).

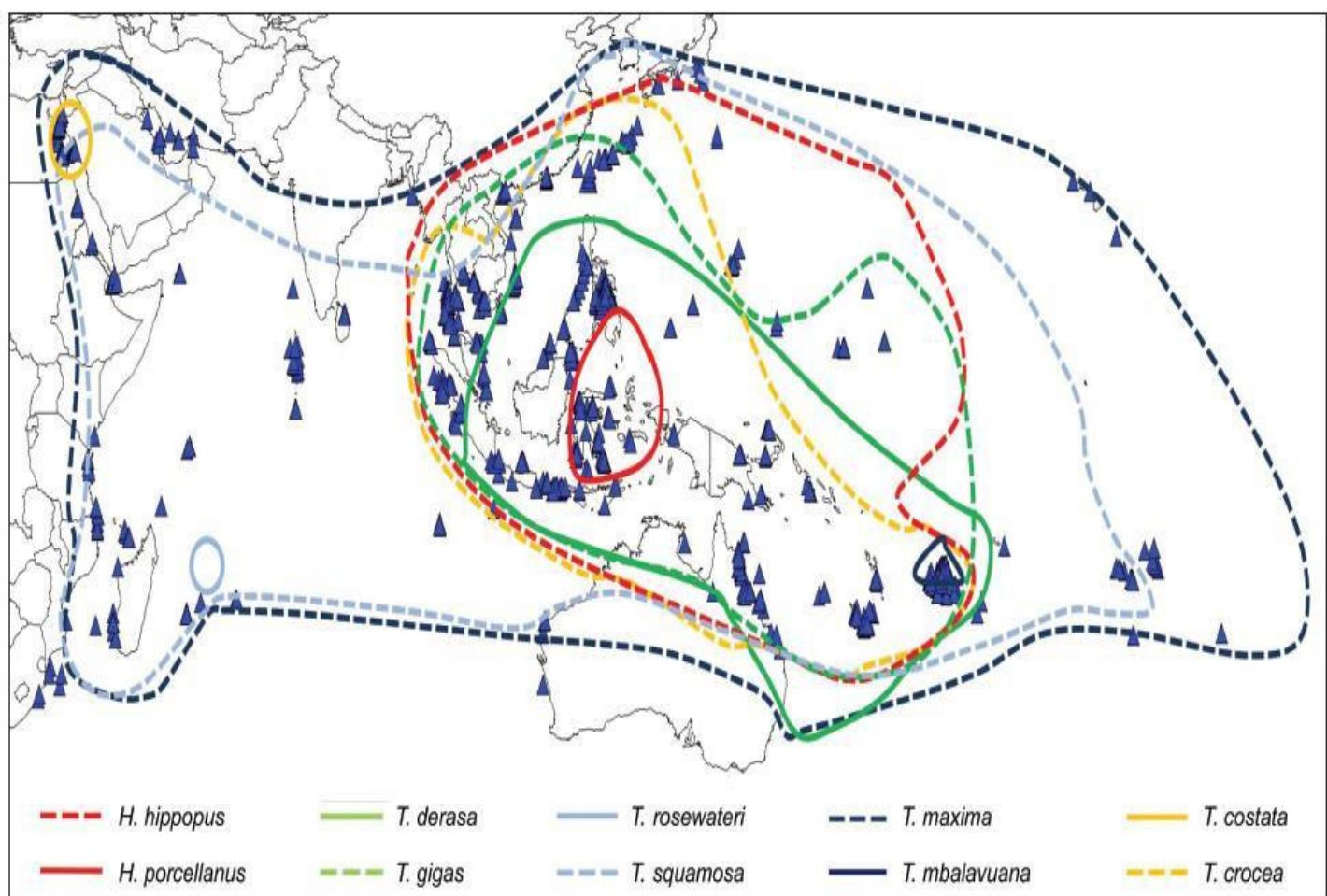


Figure 1 : répartition des différentes espèces de bénitiers (Othman *et al.*, 2010), les triangles correspondent à des enregistrements de contrôle de récif, et les espèces ne sont pas connues.

c. Morphologie et anatomie :

Les bénitiers sont composés d'une coquille constituée de 2 valves. Cette coquille se compose de trois couches : le péricostracum, l'ostracum et l'hypostracum. Le bénitier développe ces couches à partir de l'intérieur. La couche extérieure, le péricostracum se compose de sclérotine (plexus de protéines fortement interconnecté) et protège la coquille de l'eau de mer. Ensuite vient l'ostracum, composée d'aragonite. La dernière couche avant le manteau est l'hypostracum qui se compose de calcite (couche de nacre) (site internet d'aquariophilie).

Les mollusques ont un mode d'alimentation microphage, ils sont consommateurs de particules en suspension dans le milieu. La famille des Tridacnidés se caractérisent par rapport aux autres bivalves par la disposition de leur anatomie. Une grande partie de leurs organes est orienté verticalement, à 90°.

Cette particularité permet aux bénitiers d'exposer leur manteau verticalement afin d'optimiser l'apport lumineux indispensable aux algues dinoflagellées symbiotiques présentes dans leur manteau, les zooxanthelles (site internet d'aquariophilie).

Pour la fixation, les bénitiers fabriquent des filaments au niveau du byssus formés par la glande du byssus. Chez les grandes espèces, tel que *T. gigas*, ce processus se déroule uniquement au stade juvénile, ensuite les mollusques s'immobilisent à l'aide de leur poids (site internet d'aquariophilie) (cf. annexes : photo 1 page 5).

Les bénitiers possèdent également des centaines de cellules photosensibles le long des bords de leur manteau, appelé organes hyalins ou iridophores. Elles informent le coquillage des conditions lumineuses, ou de soudaines ombres, par le raccordement à un système nerveux rudimentaire. Ces cellules permettent au bénitier de se fermer à l'approche d'un prédateur par exemple. Ces cellules sont également responsables de la diversité de couleur présente chez les bénitiers (site internet d'aquariophilie).

d. Alimentation :

Les zooxanthelles sont des algues symbiotiques qui sont localisées dans un système spécial de poches dans les lobes du manteau du bénitier. Ces poches prolongent l'estomac dans les tissus du manteau. Les zooxanthelles produisent essentiellement des sucres, mais les acides aminés et les acides gras produits sont relâchés par la paroi cellulaire de l'algue directement dans le système sanguin du bénitier (Ellis, 1998).

Lorsque la luminosité est suffisante, les bénitiers peuvent vivre exclusivement des produits fournis par les zooxanthelles ; mais privés de lumière, ils meurent rapidement malgré la présence de nourriture dans l'eau, montrant l'importance de la présence indispensable des zooxanthelles pour leur survie (Ellis, 1998). C'est pourquoi, à cause de cette exigence élevée en lumière la distribution des bénitiers est limitée aux eaux superficielles.

Les bénitiers assimilent également des substances nutritives organiques dissoutes. L'ingestion de nourriture comme le phytoplancton et le zooplancton peut se faire par filtration de l'eau. Elle est aspirée par le siphon inhalant. Un courant suit vers le siphon exhalant à travers le réseau branchial. Les particules alimentaires sont capturées par les branchies et dirigées vers le voile buccal par battement de cils. Un court œsophage conduit vers l'estomac. Dans l'estomac se trouve un "pédoncule de cristal". Il se compose d'une masse gélatineuse, qui contient les enzymes de digestion. L'absorption de ces substances organiques est importante, pour la santé et la reproduction des bénitiers (site internet d'aquariophilie).

Le bénitier délivre quant à lui aux algues l'ammonium comme source d'azote. L'échange de substances nutritives aide les bénitiers et les algues à utiliser de manière optimale les zones oligotrophiques où se trouvent les récifs coralliens. De plus, à l'aide de cellules spéciales, le bénitier peut réguler l'excès de symbiontes et ainsi réagir face à des modifications de conditions environnementales comme les conditions lumineuses fluctuantes, ou la température (site internet d'aquariophilie).

Le bénéfice direct de cette relation symbiotique pour l'élevage est que les bénitiers peuvent être élevés dans la totalité de leur cycle de vie uniquement avec de l'eau propre et de la lumière comme uniques sources d'intrants (Ellis, 1998).

e. Reproduction et cycle de vie :

Les bénitiers sont hermaphrodites protandres, ils passent par une phase sexuée mâle avant de développer leurs gonades femelles. Ils parviennent à leur maturité sexuelle mâle au bout de 2 à 3 ans et leur maturité sexuelle complète à l'âge de 3 à 7 ans. Cependant cette maturité varie en fonction de l'espèce et de la localisation géographique. La dissémination de sperme se fait environ 30 minutes avant l'émission des ovocytes. Ce décalage permet d'éviter l'autofécondation, et donc une perte génétique au sein de la population (Ellis, 1998). La libération des semences en élevage peut être déclenchée artificiellement par stress en augmentant la température de l'eau, par l'adjonction de gonades ou d'hormone comme la sérotonine.

Les œufs font environ 100µm de diamètre, et éclosent sous forme de larves trochophores libres ciliées 12 h après la fécondation. La larve se développe en larve végétale d'environ 160µm, et s'alimente par filtration environ 2 jours après fécondation. Elle se métamorphose en larve pédivégétale qui développe un pied, ayant la capacité de se fixer. Pour finir, elle se métamorphose en juvénile de bénitier d'environ 200µm, 8 à 10 jours après fécondation (Ellis, 1998). Au cours des 2 semaines suivantes, la phase larvaire terminée, les coquillages deviennent sédentaires. Ensuite, les zooxanthelles sont absorbées et transportées dans le manteau.

Des hybrides entre espèces sont connus, et certains croisements ont été observés tels que : *H. porcellanus* x *H. hippopus*, *T. maxima* x *T. crocea*, *T. derasa* x *T. gigas*, *T. crocea* x *T. derasa*, et *T. squamosa* x *T. gigas*. Les hybrides s'accumulent plutôt dans les zones situées autour de l'Équateur, alors que dans les zones plus au Nord ou au Sud les espèces de *Tridacna* possèdent leurs cycles de reproduction propres (site internet d'aquariophilie).

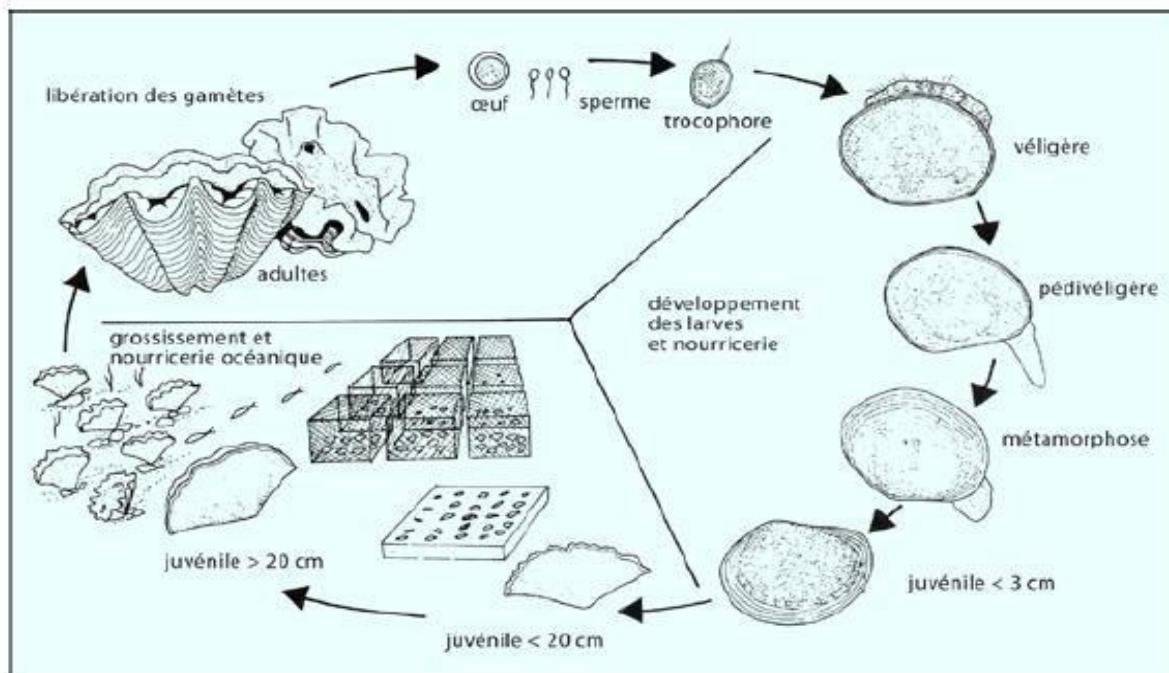


Figure 2 : cycle de vie du bénitier (Teitelbaum et Friedman, 2008)

Concernant leur développement, les bénitiers sont les mollusques ayant la croissance la plus rapide (Todd *et al.*, 2009). L'espèce *T. gigas* croît le plus rapidement, jusqu'à 10 cm par an, tandis que les espèces plus petites comme *T. maxima* croissent de 2 à 4 cm par an. *T. crocea*, l'espèce la plus petite, a la croissance la plus lente. *T. squamosa* et *H. hippopus* ont des croissances et des tailles intermédiaires (jusqu'à 40cm) (Klumpp et Griffiths, 1994). Dans les

fermes d'élevage, la croissance peut être nettement augmentée avec des apports alimentaires spécifiques. En ce qui concerne leur longévité, les bénitiers peuvent atteindre un âge de 200 ans. La plupart, surtout les espèces plus petites ont une durée de vie comprise entre 8 et 20 ans. *T. crocea* ne vit généralement que 4 à 5 ans.

2. Tridacna maxima :

a. Description de l'espèce :

La répartition de *T. maxima* est la plus large de tous les bénitiers, il est présent de l'Est de l'Afrique en passant par la mer Rouge, la mer de Chine, l'Australie, jusqu'à la Polynésie française et Pitcairn. Cette espèce peut vivre jusqu'à 10-12 m de profondeur, dans des eaux ayant une température comprise entre 25 et 30°C, la température létale maximale étant de 35°C. Il vit dans le sable ainsi que sur des débris coralliens et peut apparaître en colonies importantes (Yan, 2006). *T. maxima* est le plus commun des bénitiers avec une taille maximale de 25-30 cm. Le corps est rond, les coquilles sont pourvues de côtes transversales et garnies d'écaillles en disposition compacte. Le bord inférieur est lisse, l'ouverture du byssus est ovale. La croissance de *T. maxima* est asymétrique, il s'allonge de plus en plus. Cette espèce est la plus fréquemment élevée et développe les couleurs les plus brillantes et variées avec *T. crocea* (site internet d'aquariophilie).

b. *T. maxima* en Polynésie française :

Appelé « *pahua* » dans les îles de la Société et aux Australes ou « *kohea* » dans les Tuamotu de l'Est, *T. maxima* est l'espèce de bénitier dominante en Polynésie française (l'autre espèce très peu présente étant *T. squamosa*). Elle est présente à des densités différentes dans les lagons de Polynésie française. Dans les îles hautes, ayant des lagons largement ouverts, comme dans l'archipel de la Société (Tahiti), les densités sont faibles, voire quasi nulles. D'autre part, *T. maxima* est connu pour ses densités exceptionnelles dans les lagons des atolls des Tuamotu. Elles semblent augmenter lorsque les échanges d'eau entre le lagon et l'océan sont limités (Laurent, Planes et Salva, 2002). Les densités connues culminaient à 224 ind/m² à Reao aux Tuamotu de l'Est. Depuis, Andréfouet *et al.* (2005) ont reporté pour Fangatau et Tatakoto des densités maximales atteignant respectivement 136 ind/m² et 544 ind/m². Ces deux atolls constituent aujourd'hui les îles présentant les plus hautes densités jamais inventoriées à travers le monde (cf. annexes : carte 2 page 4).

Tableau 1 : estimations numériques avec intervalle de confiance (poids total et poids de chair des individus > 12cm) de Fangatau, Tatakoto (Tuamotu), et Tubuai (Australes) (Gilbert *et al.*, 2006).

	Nombre total de bénitiers (millions)	Poids total (tonnes)	Poids total en chair commerciale (L>12 cm) (tonnes)
Fangatau	23.6 ± 5.3	9 194 ± 2 158	1 162 ± 272
Tatakoto	88.3 ± 10.5	13 135 ± 1 573	1 485 ± 177
Tubuai	47.5 ± 5.2	19 729 ± 2 109	2 173 ± 232

L'exploitation de sa chair depuis les Tuamotu de l'Est et les Australes est d'environ 70 t/an, soit un chiffre d'affaires rendu à Papeete, d'environ 30 millions F CFP/an. Ceci offre un revenu non négligeable aux pêcheurs de ces îles, même en comparaison avec l'exploitation de la coco subventionnée (site internet du SPE).

3. L'exploitation des bénitiers :

Les bénitiers ont été une ressource durable pendant de nombreuses années. Cependant, la demande internationale pour la restauration, les coquilles comme ornementation et les animaux vivants pour le marché de l'aquariophilie a conduit à une forte surexploitation (Guest *et al.*, 2008). C'est pourquoi, en accord avec la liste rouge des espèces menacées de l'IUCN, 8 espèces ont été classées comme vulnérable, et *T. crocea* uniquement est classé comme espèce à risque plus faible.

En raison de ces demandes, certaines espèces sont précieuses pour l'industrie de l'aquaculture (Guest *et al.*, 2008). Mais l'élevage du bénitier n'en est qu'à son commencement. Les analyses économiques et les marchés se sont principalement focalisés sur la production des muscles adducteurs d'une seule espèce, *T. gigas*, et la viabilité économique de ce type d'élevage nécessite un minimum de 7 ans de grossissement pour atteindre la taille de commercialisation (Hart, Bell et Foyle, 1998). En revanche, l'industrie émergente d'élevage de bénitier dans l'océan Indopacifique s'est concentrée sur le développement de marchés d'espèces de petites tailles (taille de la coquille de 50 à 100 mm). Au prix du kilo de chair, l'élevage n'est pas intéressant pour ces petites espèces, il l'est uniquement pour les filières d'aquariophilie et d'écotourisme (Yan, 2005). Ce marché est principalement basé sur 5 espèces : *T. crocea*, *T. derasa*, *T. gigas*, *T. maxima*, et *T. squamosa*. Il est particulièrement attractif à l'échelle des petits producteurs des régions éloignées, du fait du temps de grossissement plus faible, des prix relativement élevés, et la petite taille des spécimens réduit les problèmes et les coûts liés aux frets aériens (Hart, Bell et Foyle, 1998). Les espèces les plus petites, *T. crocea* et *T. maxima*, ont un intérêt particulier pour ce marché de par la diversité de couleur de leur manteau. Pour ces 2 espèces, les tailles de coquille les plus demandées sont de 35 mm et 50 mm (Hart, Bell et Foyle, 1998).

L'aquaculture a également le potentiel de produire des juvéniles pour repeupler des zones surexploitées, ou décimées. Cependant des mesures de gestion doivent être prises pour protéger les individus relâchés ainsi que leur progéniture, et favoriser le développement de ces zones à long terme (Guest *et al.*, 2008).

4. Elevage et projets de réensemencements :

La Polynésie française a mis en place, par l'intermédiaire du service de la Pêche (SPE), un programme de gestion, d'exploitation et de repeuplement de bénitiers dans les lagons polynésiens. Depuis 2001, deux voies ont été développées pour gérer cette ressource durablement et fournir un revenu aux populations locales (site internet du SPE):

- Élaboration de méthodes d'exploitation durable à partir d'études des stocks, des pêcheries, et mise en place de mesures de gestion et de protection.
- Mise au point de techniques aquacoles de collectage de naissains, de transport, d'élevage et de repeuplement.

La disponibilité de naissains de bénitier pour des projets de réintroduction s'appuie dans les autres pays du pacifique sur une production à partir d'écloserie, car il n'existe pas d'accès à un nombre suffisant de juvéniles dans en milieu naturel.

La Polynésie française où des collecteurs sont utilisés pour fixer des naissains de *T. maxima* dans les atolls comptant des populations exceptionnellement importantes constitue une exception (Teitelbaum et Friedman, 2008).

Pour l'élevage en écloserie, selon l'espèce et les conditions environnementales il faut entre 8 et 14 jours après la fécondation pour que les larves se fixent. On les entrepose ensuite dans

des nourriceries généralement à terre pour le grossissement pendant 3 à 6 mois avant la première manipulation, et jusqu'à 12 mois avant que les juvéniles ne soient transférés dans des nourriceries en milieu océanique. Pour des bénitiers relâchés en milieu naturel, la mortalité élevée constitue un problème majeur, et une durée d'élevage supplémentaire est nécessaire pour maximiser les chances de survie (Teitelbaum et Friedman, 2008).

De plus, la réintroduction de bénitiers présente certaines difficultés. Lors de la mise à l'eau de juvéniles inférieurs à 25 mm, la survie est généralement faible, même lorsqu'ils bénéficient d'une protection et de bonnes conditions d'élevage. Il faut aussi préciser que la production et le stockage de naissains de bénitiers en écloserie, et l'élevage de juvéniles constituent un processus relativement coûteux. Le coût estimé de l'élevage de juvéniles jusqu'au stade où ils sont prêts à être transférés en mer peut varier entre 0,27-0,36 USD par juvénile (Tisdell *et al.*, 1993), il est à noter que ces estimations ne reflètent pas l'intégralité du coût des investissements dans l'installation d'une écloserie. Un nombre important de compétences est nécessaire pour assurer la reproduction et l'élevage des bénitiers. Enfin, il faut signaler que le braconnage de bénitiers issus d'écloseries pose également problème. De telles pertes ont été constatées en 2008 en Polynésie française où de nombreux bénitiers qui venaient d'être réimplantés sur Tahiti, ont été braconnés quelques jours après avoir été réintroduits à l'intérieur d'une réserve marine (Teitelbaum et Friedman, 2008).

a. Le collectage en Polynésie française :

La Polynésie française est considérée comme le pays pionnier dans le Pacifique Sud, pour le développement de cette technique de collectage. A la fois écologique et simple cette technique a su démontrer une meilleure rentabilité économique dans les conditions d'exploitation Polynésiennes. En effet, les techniques de collectage de naissain sont moins onéreuses que les techniques d'écloserie (site internet du SPE) (cf. annexes photos 2, 3, 4 et 5 pages 5 et 6).

Le but du collectage est de donner aux larves pélagiques de bénitier une chance supplémentaire de se fixer dans des zones normalement improductive (fond sableux) et donc d'améliorer le rendement naturel de fixation (quelques larves sur des millions). Les sites de collectage sont choisis en fonction de différents paramètres, tels que le vent dominant, la houle, la configuration du site (profondeur, température, et ensoleillement) et le stock de bénitiers à proximité (Yan, 2006).

Le temps d'obtention de naissain de collectage varie de 3 à 8 mois (6-10 mm). Après environ 18 mois de période de collecte les premiers bénitiers ont atteint entre 40 et 60 mm et on peut réaliser la première récolte (détroquage) de bénitiers destinés à la vente ou à l'élevage.

Un suivi régulier de la station permet de faire une estimation du nombre de bénitier, de contrôler la quantité et de trier les bénitiers. Il permet aussi d'évaluer les dates de récolte, d'identifier les problèmes de mortalité ou de colonisation de nouveaux naissains, d'entretenir la station et les naissains, et de mieux connaître les sites et les périodes favorables au collectage (Yan, 2006).

Le collectage de naissain est un succès aux Tuamotu de l'Est, où une densité moyenne supérieure à 400 individus/m² est obtenue 18 mois après la pose des collecteurs sur certaines stations (site internet du SPE).

b. L'élevage en Polynésie française :

Cette phase suit celle de collectage où les bénitiers qui ont atteints une taille de 40 mm sont détroqués, triés et transférés en vue de poursuivre leur croissance.

Des essais ont été réalisés avec 3 types d'élevage différents dans les atolls des Tuamotu, ayant chacun leurs avantages et inconvénients (Yan, 2006) :

-en enclos (cf. annexes : photo 7 page 6) : les bénitiers sont élevés sur le fond sur un site peu profond (environ 50 cm). Le cout est faible, l'installation est rapide et facile à mettre en place car l'accès est accessible à pieds. On obtient une croissance correcte et un produit de qualité. Cependant, la forte houle peut retourner les bénitiers, la prédateur due aux crabes et aux girelles est importante. La prolifération d'algues brunes, le fond vaseux et la présence de gastéropodes perceurs peuvent être néfastes à la croissance. Une augmentation de la température pendant la saison chaude peut aussi survenir, déstabilisant les paramètres physiologiques des animaux.

-en cage ou table : les bénitiers sont posés sur un support surélevé de 20 à 30 cm ce qui réduit le nombre de gastéropodes parasites et de prédateurs comme les crabes. Le dépôt vaseux est évité. La croissance est également bonne, et le contrôle du support est simple. Néanmoins, le cout est assez important pour la fabrication des tables, et demande plus de temps et de moyens (difficiles à obtenir dans des atolls éloignés, comme aux Tuamotu). L'incidence de la houle est plus forte par rapport à l'élevage en enclos, et la prolifération d'algues brunes est toujours présente.

-en radeau (cf. annexes : photo 6 page 6) : ce type d'élevage se fait à environ 1 m de profondeur. Cette méthode donne de très bons résultats de croissance et de survie sur du support plastique et est plus pratique à mettre en place que l'élevage en cage. La prédateur est quasiment nulle, ainsi que le dépôt de vase. Le détroquage est simple (le fait de retirer le bénitier de son support en coupant les filaments de byssus). Cependant, le cout des structures est beaucoup plus important, et la forte houle peut aussi endommager la structure.

c. Réensemements réalisés en Polynésie française :

Dans certaines îles hautes où la surpêche a conduit à une très forte raréfaction, il apparaît opportun d'effectuer des campagnes de réensemencement. Le choix du site est important, il doit être dans une zone dégagée afin de préserver l'environnement, en évitant de détruire le corail (Yan, 2005). Des réensemements ont été réalisés aux Tuamotu de l'Est où 3 types de substrats ont été testés :

-le fond sableux : un apport solide est nécessaire pour maintenir et fixer les bénitiers soit par des coquilles de bénitiers ou de la dalle corallienne.

-le fond de gravier : la structure et la composition du sol sont importantes à identifier pour déterminer la quantité de graviers à installer.

-la dalle corallienne : c'est l'un des meilleurs supports pour le repeuplement car il ne nécessite pas d'apport d'autres matériaux.

➤ Repeuplement dans l'atoll de Fangatau, archipel des Tuamotu (Yan, 2004) :

Un essai de réensemencement sur ces différents supports (gravier, dalle corallienne et coquille de bénitiers) a été prometteur avec 80% de survie globale. Les résultats obtenus ont été de 78% de survie sur gravier, de 86% de survie sur dalle corallienne, et de 88% de survie sur coquilles. Le taux de survie était supérieur à 80% sur tout support pour les bénitiers de 50 mm et plus. La croissance était forte mais différente selon les supports, 0,11 mm/j sur gravier, 0,08 mm/j sur coquille et 0,05 mm/j sur dalle corallienne. Cette variation de croissance a pu être liée aux techniques de travail, car la densité sur gravier était de 156 bénitiers/m², au lieu de 352 bénitiers/m² et 372 bénitiers/m² sur dalle et coquille.

➤ Repeuplement dans l'atoll de Tatakoto, archipel des Tuamotu (Yan, 2004) :

Le taux de survie obtenu a été très bon à forte densité et à partir d'individus de 60mm avec une moyenne de 70% sur les 2 meilleurs supports (coquilles et dalle corallienne). La croissance a également été variable entre les 3 supports, mais légèrement plus faible qu'à Fangatau. Elle s'est située entre 0,03 et 0,09 mm/j.

d. Tahiti Eco Clams :

La société TEC est composée de 4 personnes, et présente un champ de compétences varié autour de l'aquaculture. Sa principale activité tourne autour des techniques de collectage et d'élevage de naissains de bénitiers avec comme objectif de développer une filière durable d'exploitation du bénitier, tant au niveau local par des réensembllements halieutiques et éco-touristiques, qu'au niveau international par des exportations éco-responsables.

La société est également partenaire de l'entreprise Bora Eco Fish à Bora Bora qui élève de manière écologique des larves de poissons, permettant une synergie lors des opérations de réensembllement et à l'exportation.

Enfin l'entreprise conserve une activité de consultance en ingénierie aquacole, en halieutique et en économie aquacole.

L'entreprise possède des infrastructures sur différents sites, dans l'archipel de la Société sur Tahiti et Bora Bora, mais aussi aux Tuamotu de l'Est à Tatakoto où est réalisé le collectage et l'élevage des bénitiers.

La société travail en partenariat étroit avec le Service de la pêche (SPE), l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et l'initiative pour les récifs coralliens (CRISP) sur les techniques d'élevage et des projets de réensembllements en Polynésie française. Les travaux ont pour but de définir les techniques de collectage, d'élevage, de transport, et de réensembllement des bénitiers ; mais aussi de définir les composantes économiques de faisabilité et de viabilité au niveau local et international de ces dernières. (Tchepidjian, 2010, communication personnelle).

III. Matériels et méthodes :

1. Transport local de bénitiers (inter-iles), stabulation :

Les bénitiers présents dans le bassin de stabulation proviennent de l'atoll de Tatakoto, dans l'archipel des Tuamotu. Selon l'espace disponible dans l'avion, certains arrivages ont dû être reportés, notamment au mois d'avril.

Les bénitiers sont récupérés sur la station d'élevage, et acheminés par bateau vers un site de stockage. Ensuite ils sont détroqués à terre, préparés et rangés dans les glacières, pour enfin être conduits à l'aéroport de Tatakoto. Les bénitiers sont préparés vers 6h le matin sur l'atoll, le vol part vers 10h, et nous les replaçons dans l'eau vers 18h selon la ponctualité du vol, et la difficulté de circulation entre l'aéroport et l'IRD. Ce qui fait que les bénitiers font en moyenne un voyage de 12h.

Les bénitiers sont transportés dans des glacières. Elles peuvent contenir approximativement 25 à 30 Kg de bénitiers vivants. Ils sont disposés dans des clayettes ajourées et isolés des packs de gel placés en haut par une serpillière humide ou un tissu fin. Les bénitiers sont transportés à sec. Cette technique a été mise en place il y a peu, et permet d'obtenir un meilleur taux de survie tout en réduisant le poids pour le fret, et ainsi le prix du transport. Des tests de transport ont montré des résultats prometteurs avec un taux de survie de 95 % (Yan, 2004). Un rinçage préalable à l'eau douce permet d'éliminer les épibiontes (cf. annexes : photos 11 et 12 page 8). Le bénitier pourra ainsi être transporté pendant plusieurs heures en réduisant son métabolisme, grâce à un taux d'humidité et une température les plus constants possibles.

Grâce à cette technique de transports viable et à faible cout, certaines îles peuvent désormais récupérer des naissains de bénitiers pour des repeuplements, créer des fermes de grossissement, ou des centres de stockages. Cependant cette technique ne fonctionne pas efficacement sur les bénitiers d'une longueur supérieure à 15 cm, probablement du fait que l'imperméabilité de ceux-ci n'est pas optimale lors de leur fermeture (Tchepidjian, 2010, comm. pers.).

Les bénitiers sont ensuite transportés jusqu'à la société située dans les locaux de l'IRD, sur la commune d'Arue à 4 Km de Tahiti. Ils sont placés dans un bassin de stabulation, d'une longueur de 3,60 m, d'une largeur d'1 m et d'une hauteur de 0,4 m (volume de 1,44 m³). L'eau est acheminée depuis le lagon qui se situe à quelques dizaines de mètres (marina d'Arue). Elle est prélevée à environ 7 m de profondeur et permet ainsi d'éviter de récupérer les impuretés présentes en surface (notamment les substances larguées par les bateaux de la marina). Une pompe principale conduit l'eau dans une cuve carrée, où une première filtration est réalisée à l'aide de chaussettes de 50 µm ou 25 µm. Ensuite un écumeur récupère l'eau de la cuve pour la purifier au maximum (toute l'écume est récupérée en haut du dispositif). Ensuite, 2 pompes sont situées dans la cuve. Une première amène l'eau jusqu'à un régulateur de température calibré entre 25°C et 28°C, ensuite l'eau est larguée dans le bassin principal. La seconde récupère directement l'eau présente dans la cuve pour l'acheminer dans le bassin. Deux autres pompes placées dans ce bassin, permettent la formation d'un courant d'eau (oxygénation). Au bout du bassin, l'eau est renvoyée dans la cuve. Un orifice permet d'éviter que le niveau de la cuve déborde (cf. annexes : photo 8 page 7).

Le bassin peut rester en circuit ouvert (circulation de tout le dispositif), ou en circuit semi ouvert lorsque l'eau du lagon est impropre (lors de fortes pluies les rivières ramènent

beaucoup de boue et de débris, ou lors de forte houle où la vase est soulevée), on coupe alors la pompe principale, et le courant d'eau se fait entre le bassin et la cuve uniquement (il n'y a pas de renouvellement d'eau).

Certaines expérimentations ont été réalisées sans l'écumeur. L'eau était filtrée par les chaussettes et amenée directement aux 2 pompes de la cuve. Ensuite, pendant le mois de juin, la pompe principale est tombée en panne et nous avons du utiliser la deuxième pompe (celle de l'écumeur) pour prélever l'eau du lagon. A partir de cette date, nous n'avons plus utilisé l'écumeur.

Au dessus du bassin, sont placées les lampes, permettant l'apport lumineux nécessaire aux zooxanthelles. Différentes sortes de néons sont disposés et peuvent renvoyer plusieurs longueurs d'onde, ce qui a pour but d'émettre un certain rayonnement simulant ainsi une certaine profondeur pour les bénitiers (cf. annexes : photo 8 page 7).

Les bénitiers, quant à eux sont placés dans des clayettes à environ 50 cm de la surface, pour les stabiliser verticalement et récupérer un maximum de luminosité. On en place approximativement une douzaine par clayette selon leur taille. On réalise un rinçage à l'eau de mer avant de les entreposer dans le bassin. Ce rinçage va permettre d'éliminer un grand nombre de parasites (annelides, mollusques, épibiontes). Ensuite les bénitiers sont mis en stabulation pour 1 à 2 semaines, selon le devenir des coquillages, et un suivi est réalisé (notamment concernant l'aspect morphologique). Ce suivi va permettre de déceler les animaux faibles ou morts. Nous nous basons sur des caractéristiques morphologiques : chez les bénitiers morts, le manteau est replié et les lobes sont décollés (le manteau se sort pas de la coquille), le byssus est rétracté, l'animal n'a pas de réaction lorsqu'on le saisi (il ne se referme pas) ; ces animaux sont retirés du bassin le plus rapidement possible pour éviter de dégrader la qualité de l'eau et de fragiliser les animaux faibles ou en récupération (cf. annexes : photos 9 et 10 page 7).

2. Transport international :

Nous avons réalisé 2 expéditions internationales. La première a été faite mi mai. 90 bénitiers ont été envoyés jusqu'en métropole, à Nogaro dans le Gers. Le vétérinaire a vérifié l'état sanitaire des bénitiers et préparé les documents d'exportation le lundi 17 mai. Le matériel a été préparé le mardi 18 mai. Nous avons préparé des packs de gel, ainsi que 90 lots de sachets plastiques servant à contenir les bénitiers. Un premier sachet était placé dans un morceau de journal plié, et ceci placé dans un deuxième sachet, le journal ayant pour but de protéger le bénitier et d'éviter que les écailles ne sectionnent les sachets. Ensuite, 8 cartons (6 contenant 11 bénitiers, et 2 contenant 12 bénitiers) ont permis de stocker les coquillages préparés le mercredi 19 mai. Les bénitiers ont été placés dans les pochettes en plastiques avec une certaine quantité d'eau de mer et d'oxygène variable selon leur taille. On les a ensuite placés dans 2 autres pochettes en plastiques pour les protéger au maximum des chocs. L'ensemble était disposé dans les cartons. Les packs de gel ont été placés au dessus. Le tout a été refermé dans du polystyrène.

Les cartons ont été amenés au fret aérien le mercredi midi et sont partis pour la France le mercredi soir, ils sont arrivés à Roissy Charles de Gaulle après une cinquantaine d'heures de transport.

Le 2 juin, une deuxième expédition a été réalisée, à destination d'El Segundo, à proximité de l'aéroport de Los Angeles en Californie, aux Etats-Unis. Les méthodes de paquetage ont été identiques et préparées le 1^{er} juin. Cent individus ont été envoyé dans 9 cartons (8 contenant 11 bénitiers et 1 contenant 12 bénitiers). Le transport a duré environ 24h.

3. Réensemencement :

a. Matériels utilisés :

Dans le cadre des activités de la TEC, une étude sur les techniques de réensemencement de bénitiers issus de collectage dans les lagons d'îles hautes doit être mise en place. Ceci permettra d'évaluer les conditions optimales pour la réalisation de repeuplements futurs. L'objectif de ces réensemencements est d'évaluer les facteurs qui contribuent à optimiser la réussite de ceux-ci (Tchepidjian, 2010, communication personnelle).

Pour réaliser ces expérimentations, la construction de supports indispensables aux bénitiers a dû être réalisée. Nous avons décidé de choisir la coquille de bénitiers comme support. Des études de réensemencements aux Tuamotu ont montré qu'il s'agissait du meilleur support au niveau de la survie et de la croissance des bénitiers, devant la dalle corallienne et le gravier.

Durant le mois d'avril, de nombreux problèmes techniques ont entraîné la mort d'environ 200 bénitiers. De ce fait, environ 400 valves de bénitiers étaient disponibles pour réaliser nos supports. Nous avons décidé durant le mois de juin de construire des supports en roches coralliennes sur lesquelles sont fixées les valves, le creux vers le haut pour accueillir le byssus des bénitiers repeuplés. Nous avons percé les roches coralliennes. Ensuite grâce à un pistolet à colle nous avons fixé les coquilles de bénitiers à un morceau de tube PVC (la colle se fixant mieux sur le PVC que directement entre la roche et la coquille). Ensuite, nous avons encastré les tubes à l'intérieur des trous faits dans les roches. Les roches coralliennes ont été récupérées dans le lagon, à quelques centaines de mètres de l'IRD dans une zone riche en débris coralliens en bordure de récif, due au cyclone du mois de février. Une dizaine de roche de tailles différentes a été utilisée pour la réalisation des supports (cf. annexes : photos 14 à 16 page 9).

Les complexes ont été entourés par un grillage plastique avec des mailles de 15 mm. La base et le couvercle sont des carrés de 96x96 cm, le cylindre a un diamètre de 95 cm et une hauteur de 60 cm pour accéder facilement au fond du dispositif une fois le matériel placé dans l'eau. Ce grillage a pour rôle d'empêcher la prédation, notamment par les poissons et les poulpes, mais aussi humaine. Le grillage forme un cylindre, fixé par des liens en nylon à la base ; et sur le couvercle, pour pouvoir accéder à l'intérieur du dispositif. Nous avons fabriqué 3 complexes de protection, disposés 2 semaines afin que les bénitiers puissent se fixer sans dangers aux supports. Ensuite nous avons retiré le grillage plastique, en laissant la base sous les modules de roches (cf. annexes : photo 13 page 9).

Les bénitiers quant à eux sont fournis par le service de la pêche, et issus des stations de collectage de Tatakoto. Un point essentiel est d'utiliser des bénitiers issus de collectage plutôt que d'écloserie. La proportion de bénitiers géniteurs dans les écloseries est faible, elle se résume à quelques individus uniquement, réduisant ainsi la diversité génétique, et donc la pérennité de l'espèce. Les bénitiers issus du collectage ont un brassage génétique nettement plus important dû au grand nombre de gamètes rejetés dans le milieu, et à la fixation des larves. De plus les bénitiers provenant d'écloserie présentent un processus relativement coûteux. Les bénitiers ont été placés une semaine en stabulation dans le bassin de la TEC. Nous avons réalisé 3 lots comportant chacun 20 bénitiers. Un suivi a été effectué pendant plusieurs semaines après la mise à l'eau des animaux.

b. Site de réensemencement :

Le choix du site est défini en fonction de différents paramètres. La zone doit être peu turbide, l'eau doit être de bonne qualité avec une variation de température faible, et le site doit avoir

une profondeur et un courant faibles. Le réensemencement s'est déroulé dans le lagon de Moorea, au Nord-Ouest de l'île, dans la baie de l'hôtel Intercontinental partenaire de l'association *Te Mana o te Moana*. Le site correspond au sentier sous marin de l'hôtel, c'est une zone sableuse peu profonde, avec de rares structures coralliniennes isolées. Le lieu est gardé, évitant ainsi un scénario similaire au réensemencement de Tahiti sur le site de Faa'a en zone réglementée (cf. annexes : photo 21 à 23 pages 11 et 12).

c. Déroulement du réensemencement :

Le réensemencement s'est déroulé le mercredi 30 juin. Le matériel a fini d'être préparé et a été chargé dans la matinée sur Tahiti (grillages, roches avec supports, matériels de recharge, matériels de plongée). Nous avons placé les bénitiers dans la glacière à 11h30, et nous sommes arrivés sur le site vers 14h. Les bénitiers ont été placés à l'eau dans des clayettes à 14h30 le temps d'installer les modules sur le site, soit un voyage de 3h à sec. L'installation s'est terminée vers 17h. Le grillage de protection a été retiré 14 jours après la mise en place du réensemencement (une fois tous les individus fixés) (cf. annexes : photo 17 à 20 page 10).

Nous avons placés des sondes multiparamètres dans le bassin et sur le site de réensemencement. Elles permettent de décrire le milieu dans lequel elles sont plongées. Nous avons ainsi pu obtenir des informations sur la température, le pH, le pourcentage d'oxygène dissous, et la luminosité de ces 2 milieux. Elles ont été placées dans le bassin les vendredi 16 et samedi 17 juillet, et à Moorea le dimanche 18 juillet. Elles sont restées moins de 24h sur le site de réensemencement (de 19h le samedi à 15h le dimanche), du fait de la surveillance du matériel et de disponibilité en temps (cf. annexes : photos 24 et 25 page 12).

IV. Résultats :

1. Analyses du transport local :

Un des points les plus importants de cette étude a été l'analyse des taux de survie des bénitiers lors des transports inter-île (du site d'élevage de Tatakoto, au site de stabulation de Tahiti), afin de développer les techniques de ces transports locaux et le secteur de l'aquaculture pour potentiellement l'étendre à des zones éloignées.

Un suivi de mortalité des différents arrivages a été fait sur une, voir plusieurs semaines selon le devenir des bénitiers (expéditions internationales, expérimentations de réensemencements, ou fortes mortalités).

Nous avons réalisé plusieurs tableaux Excel dans lesquels nous avons classé chaque lot, selon la date d'arrivée (nombre de glacières), le niveau dans lequel se trouvent les bénitiers dans la glacière (en haut proche des packs de gel, au milieu, en bas), la quantité de bénitiers par niveau, le type d'isolation thermique dans les glacières (tissu fin ou serpillère épaisse), le nombre de pack de gel par glacière, le taux de survie de l'arrivée, et le taux de survie par niveau (sur une et sur 2 semaines selon les arrivages).

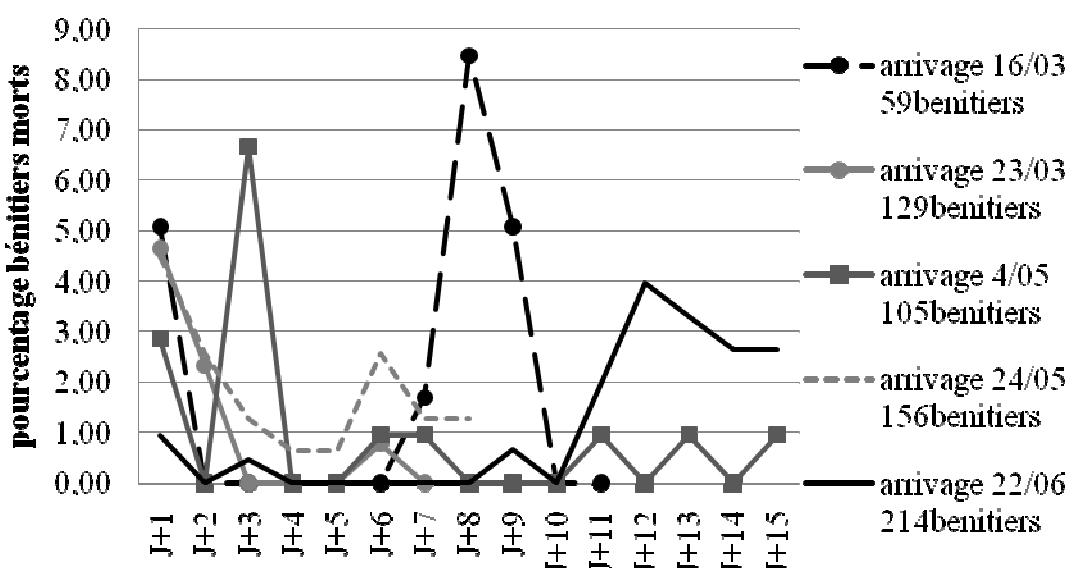
Grâce à ces tableaux, nous avons réalisé un suivi du nombre de bénitiers morts en fonction du nombre de jour après arrivage, synthétisé dans le tableau 2 suivant :

Tableau 2 : taux de mortalité des bénitiers des différents arrivages en fonction du nombre de jour de stabulation.

Jour après arrivage	Mortalité des bénitiers en fonction de l'arrivée (% par jour)					
	16/03/10 : 59 bénitiers	23/03/10 : 129 bénitiers	02/05/10 : 105 bénitiers	24/05/10 : 156 bénitiers	22/06/10 : 214 bénitiers	Mortalité moyenne (%)
J+1	5,08	4,65	2,86	4,49	0,93	3,6
J+2	0	2,33	0	2,56	0	0,98
J+3	0	0	6,67	1,28	0,47	1,68
J+4	0	0	0	0,64	0	0,13
J+5	0	0	0	0,64	0	0,13
J+6	0	0,78	0,95	2,56	0	0,86
J+7	1,69	0	0,95	1,28	0	0,79
J+8	8,47	0	0	1,28	0	1,95
J+9	5,08	/	0	/	0,66	1,92
J+10	0	/	0	/	0	0
J+11	0	/	0,95	/	1,99	0,98
J+12	/	/	0	/	3,97	1,99
J+13	/	/	0,95	/	3,31	2,13
J+14	/	/	0	/	2,65	1,32
J+15	/	/	0,95	/	2,65	1,8

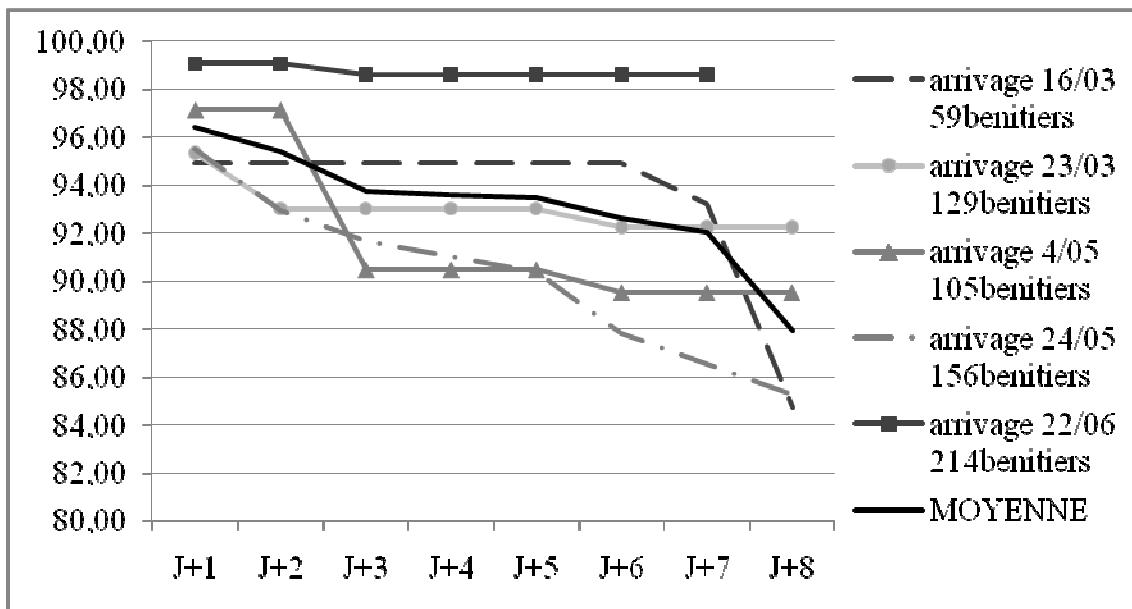
En moyenne, on obtient une mortalité de 3,6 % le jour suivant la mise en stabulation dans le bassin. Elle fluctue ensuite et baisse faiblement jusqu'à une semaine où elle est de 0,79 %, pour remonter légèrement aux alentours de 9 jours après la mise en stabulation, où elle atteint 1,92 %. Les données moyennes de mortalité sur la deuxième semaine proviennent uniquement des arrivages de mi mai et de fin juin. On remarque qu'elle est en moyenne plus élevée que la mortalité lors de la première semaine de mise en stabulation mais ceci est uniquement dû à la forte mortalité de l'arrivée de fin juin ; si on prend celui de mi mai, on constate que la mortalité est parmi la plus faible de l'ensemble des données. Le tableau fait également ressortir le fait que pour plusieurs arrivages, il n'y a pas de mortalité pendant plusieurs jours consécutifs après 1 à 5 jours après la mise en stabulation. Uniquement l'arrivée de fin mai présente une mortalité journalière sur la première semaine de mise en stabulation.

Sur le graphique 1 ci-dessous présente les taux de mortalité des arrivages en fonction du temps de stabulation. On remarque pour le taux de survie sur 2 semaines de stabulation, que la mortalité de l'arrivée de fin juin augmente à partir de 10 jours après mise en stabulation en lien avec de fortes pluies présentes à ce moment (jusqu'à 4 % de mortalité), alors que celle de l'arrivée du mois de mai semble se stabiliser avec seulement 1 % de mortalité un jour sur deux. Le graphique fait aussi ressortir un pic de mortalité 8 jours après la mise en stabulation pour l'arrivée de mi mars, alors que les autres arrivages ne présentent pas de telle variation soudaine.



Graphique 1 : taux de mortalité des différents arrivages en fonction du nombre de jour de stabulation.

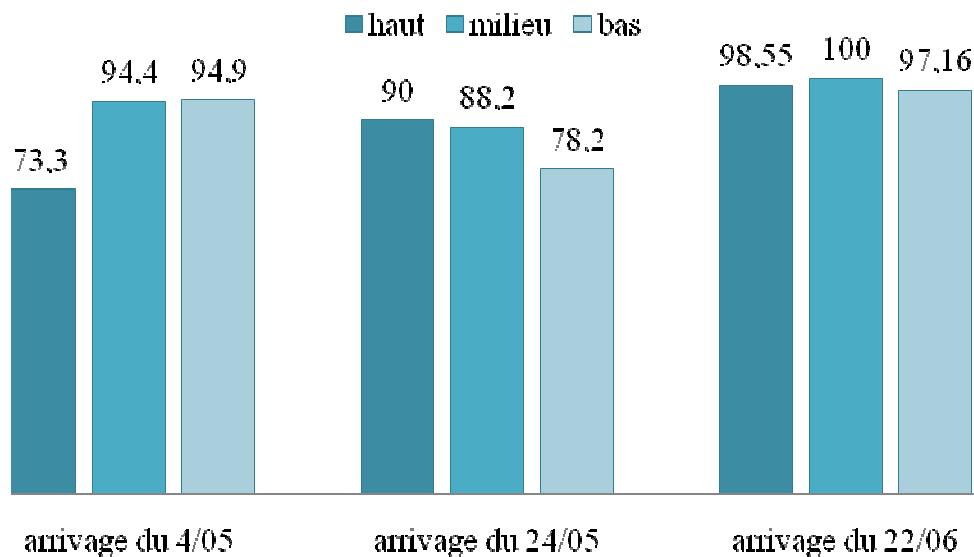
Le tableau des taux de mortalité de bénitiers nous a permis de dresser le graphique 2 suivant, présentant les taux de survie des arrivages lors de la première semaine de mise en stabulation du bassin de la TEC.



Graphique 2 : taux de survie des différents arrivages lors de la première semaine de stabulation.

Ce graphique montre clairement l'hétérogénéité des données selon l'arrivage. Le dernier (22 juin) présente un taux de survie nettement supérieur aux arrivages précédents, ne descendant pas en dessous de 98 % au bout d'une semaine, contrairement à l'arrivage de fin mai (24/05), descendant presque à 85 % de survie. Le taux de survie moyen des bénitiers au bout d'une semaine de mise en stabulation est de 93,9 %.

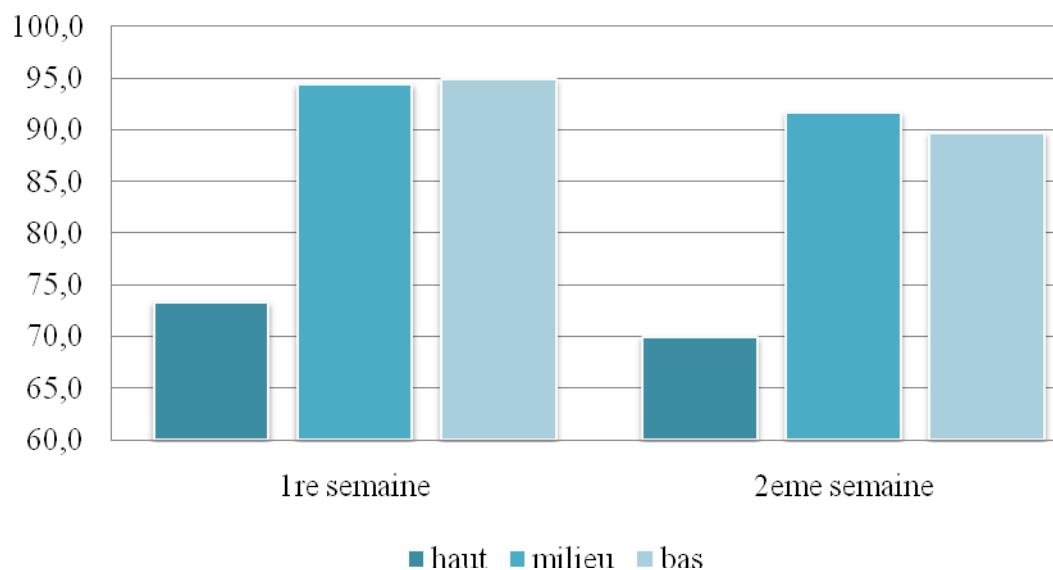
Ensuite, comme cité plus haut, nous avons analysé certains paramètres des conditions de transports au sein de chaque arrivage. Les données récoltées nous ont permis de dresser les histogrammes suivants. Voici maintenant le graphique 3, présentant les taux de survie des bénitiers des 3 derniers arrivages, en fonction de leur disposition dans la glacière (les gels packs sont placés en haut soit dans un tissu humide fin, soit dans une serpillière, pour éviter le contact direct avec les coquillages). L'arrivage du 4/05 est le seul des 3 dans lequel l'isolant était un tissu fin, les 2 autres comprenaient des serpillères plus épaisses.



Graphique 3 : taux de survie des arrivages en fonction de la disposition des bénitiers dans la glacière.

On peut clairement voir sur ce graphique que les données des 3 arrivages sont relativement différentes, quelque soit le niveau. Pour l'arrivée de début mai, le niveau présentant le meilleur taux de survie est celui du bas avec 94,9 % et le niveau haut présente le taux de survie le plus faible, avec 73,3 %. Pour l'arrivée de fin mai, c'est l'inverse, ici c'est le niveau du haut qui obtient le meilleur taux de survie, avec 90 % alors que celui du bas présente le taux le plus faible avec 78,2 %. Pour l'arrivée de fin juin, les taux de survie des 3 niveaux sont clairement supérieurs à ceux des arrivages précédents, le niveau du milieu présente le taux le plus élevé, étant de 100 % (aucun bénitier n'est mort lors de la première semaine de stabulation), et le taux le plus faible se situe au niveau bas, avec 97,2 %.

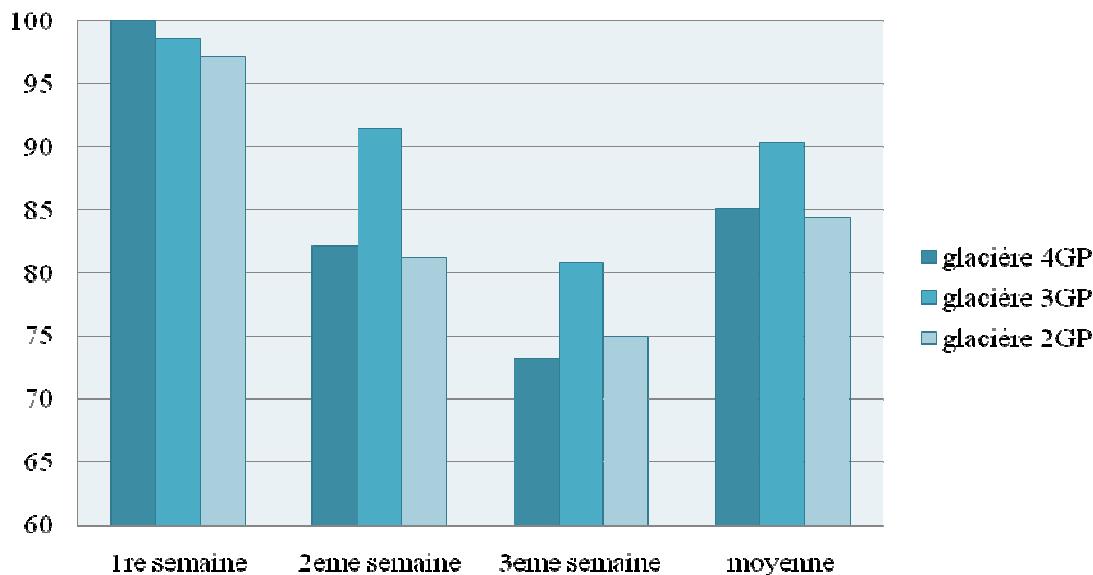
Le graphique 4 montre l'évolution du taux de survie de l'arrivée du 4 mai entre la première et la deuxième semaine de stabulation toujours en fonction de la disposition des bénitiers dans la glacière :



Graphique 4 : taux de survie de l'arrivée du 4 mai en fonction de la disposition dans la glacière.

La variation du taux de survie entre la semaine 1 et la semaine 2 est relativement faible pour cet arrivage. L'écart le plus élevé est pour le niveau bas, passant de 94,9 % à 89,7 % à la deuxième semaine. L'écart le plus faible est pour le niveau du milieu, passant de 94,4 % à 91,7 % à la deuxième semaine. Le niveau du haut passe quant à lui de 73,3 % à 70 % de survie.

Le dernier arrivage de fin juin, nous a permis d'observer l'influence de la variation de la température lors du transport entre le site de collectage (Tatakoto), et le bassin de stabulation de la TEC (Tahiti). Pour cela, nous avons mis un nombre différent de packs de gel dans chaque glacière, une avec 4 packs faisant au total 1,7 Kg de froid, une avec 3 packs faisant 1,6 Kg de froid, et la dernière avec 2 packs faisant 1,3 Kg de froid (le poids total des packs est indiqué car il ne s'agissait pas des mêmes modèles, ce qui fait qu'indiquer uniquement le nombre est moins représentatif). Cette analyse ne s'est faite que sur cet arrivage, avec des bénitiers de tailles plus petites, mesurant entre 8 et 10 cm.



Graphique 5 : taux de survie de l'arrivée du 22 juin en fonction du nombre de packs de gel (GP) par glacière.

Contrairement au graphique 4, on peut ici constater la décroissance du taux de survie des bénitiers au fil des semaines de stabulation dans le bassin. Par contre, on observe que sur la première semaine la variation du taux de survie selon le nombre de packs de gel est faible. La glacière à 4 packs présente un taux de survie de 100 %, celle à 3 packs un taux de 98,61 %, et celle à 2 packs un taux de survie de 97,1 %. Cependant, on remarque que lors des 2 semaines suivantes, les données évoluent. La glacière contenant 3 packs se démarque des autres. Le taux de survie atteint 91,49 % au bout de 2 semaines, alors qu'il est de 82,14 % pour la glacière à 4 packs, et de 81,25 % pour la glacière à 2 packs. Au bout de 3 semaines de stabulation, c'est toujours la glacière à 3 packs qui présente le taux de survie le plus élevé, avec 80,85 %. La glacière à 4 packs possède un taux de 73,21 %, et celle à 2 packs, un taux de survie de 75 %. Si nous prenons le taux de survie moyen sur les 3 semaines de stabulation, c'est la glacière contenant 3 packs de gel qui possède le taux de survie le plus élevé, atteignant 90,32 %. Les 2 autres glacières possèdent un taux de survie assez similaire avec 85,12 % pour celle à 4 packs, et 84,45 % pour celle à 2 packs.

2. Analyses du transport international :

Un autre point analysé lors de cette étude a été la viabilité du transport international, afin de développer l'activité commerciale à l'échelle internationale. Concernant les expéditions faites via la France et la Californie, un suivi de la mortalité a été effectué par les commanditaires sur la première semaine après l'arrivée.

Tableau 3 : taux de survie des expéditions internationales au bout d'une semaine

	France (mi mai)			Californie (début juin)		
	Nombre de bénitiers	Nombre de morts	Taux de survie (%)	Nombre de bénitiers	Nombre de morts	Taux de survie (%)
départ	90	0	100	100	0	100
Arrivée	82	8	91,11	81	19	81
J+1	75	7	83,33	73	8	73
J+2	70	5	77,78	66	7	66
J+3	70	0	77,78	66	0	66
J+4	70	0	77,78	60	6	60
J+5	70	0	77,78	56	4	56
J+6	69	1	76,67	/	/	/

90 bénitiers ont été envoyés en Métropole. Le temps total de transport a été d'environ 50 h. 8 morts ont été dénombrés à l'arrivée, (J+2), 7 morts le jour suivant (J+3), 5 morts le jour d'après (à J+4), et ensuite aucun jusqu'à J+8, où on a eu 1 mort. Au total, 21 bénitiers sur 90 sont morts dont 8 pendant le transport. Ce qui nous donne un taux de survie pour cette expédition de 76,67 %.

Pour la Californie, nous avons envoyé 100 bénitiers. Le temps total de transport est approximativement de 24h. 19 morts ont été comptabilisés à l'arrivée (J+1), 8 morts le lendemain (J+2), 7 morts le jour suivant (J+3), aucun à J+4, 6 morts à J+5 et enfin 4 morts à J+6. Soit 44 morts au total, dont 19 pendant le transport. Ce qui nous donne un taux de survie de 56 % pour cette expédition.

3. Expérimentation de réensemencement :

Concernant l'étude de réensemencement, nous avons repeuplé 3 lots de 20 bénitiers de taille moyenne identique. L'étude nous permet de réaliser un suivi avec le lot resté en stabulation sur Tahiti. Ainsi nous pouvons analyser l'impact du réensemencement dans ce type d'environnement en île haute sur le taux de survie des individus repeuplés, et donc décrire la viabilité pour de futurs projets.

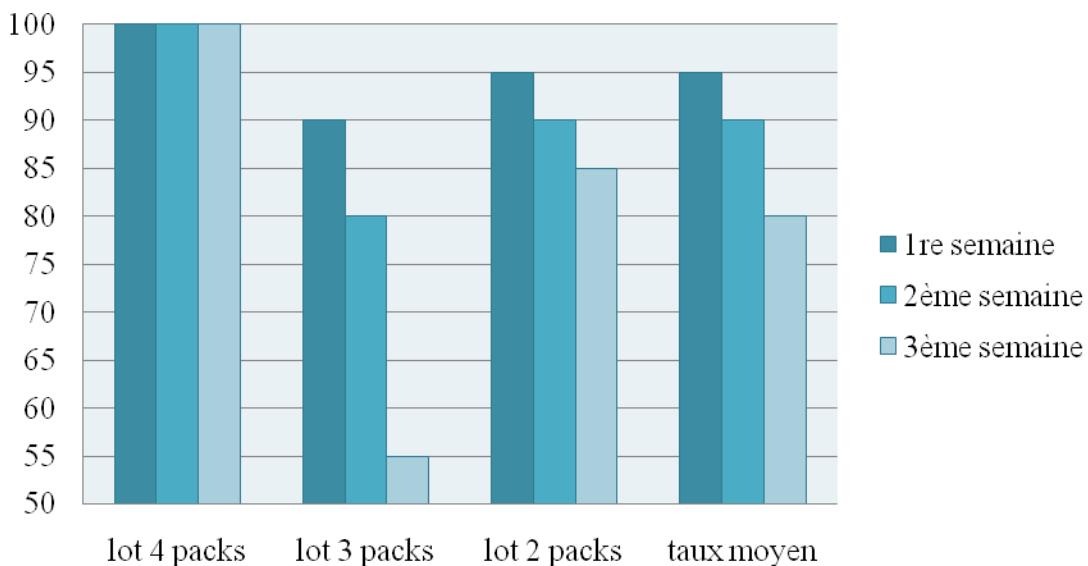
Le tableau 4 ci-dessous présente le nombre de bénitiers morts lors du réensemencement en fonction du lot et du temps (en jours), ainsi que les taux de survie des lots et les taux de survie moyens au bout d'une semaine, de deux semaines et de trois semaines après la mise en place du repeuplement. Les individus notés disparus dans la colonne « observations » signifie qu'ils n'ont pas été retrouvés, on a uniquement constaté leur absence sur les supports.

Tableau 4 : nombre de bénitiers morts en fonction du nombre de jours après la mise en place du repeuplement.

Nombre de jours après repeuplement	Nombre de bénitiers morts			observations
	Lot de la glacière à 4 packs de gel	Lot de la glacière à 3 packs de gel	Lot de la glacière à 2 packs de gel	
J+1	0	1	0	/
J+5	0	0	1	Premières fixations
J+7	0	1	0	Pas tous fixés
J+14	0	1	1	Grillages retirés
J+16	0	1	0	/
J+19	0	1 (disparu)	1 (disparu)	/
J+21	0	4 (disparus)	0	Taux de survie moyen (%)
Taux de survie à 1 semaine (%)	100	90	95	95
Taux de survie à 2 semaines (%)	100	80	90	90
Taux de survie à 3 semaines (%)	100	55	85	80

Une des principales informations fournie par ces données est qu'au bout de 3 semaines de suivi, le lot provenant de la glacière à 4 packs de gel possède toujours un taux de survie de 100 %. Les grillages de protection (contre les prédateurs, et les consommateurs) a été retiré à J+14, une fois que tout les individus étaient fixés, les premiers se sont fixés à partir de J+5 (les bénitiers présents dans le bassin ne se fixent pas aussi rapidement). Nous pouvons voir que le lot provenant de la glacière à 3 packs présente le taux de survie avec la plus forte décroissance, passant de 90 % au bout d'une semaine, à 55 % au bout de 3 semaines. Pour le dernier lot, il passe de 95 % de survie au bout d'une semaine, à 85 % au bout de 3 semaines. Les taux de survie moyens décroissent au fil des semaines passant de 95 % de survie lors de la première semaine, à 90 % puis 80 % lors de la deuxième et troisième semaine. A partir de J+19, les bénitiers disparus ont été victime soit de prédatation par des poissons qui les aurait arrachés, soit de capture du fait de l'absence des grillages.

Le graphique 6 présente les résultats du tableau 4 des taux de survie des lots et des taux de survie moyens au bout d'une semaine, de deux semaines et de trois semaines après la mise en place du réensemencement. On se rend mieux compte ici de la variabilité des résultats obtenus en fonction des lots.



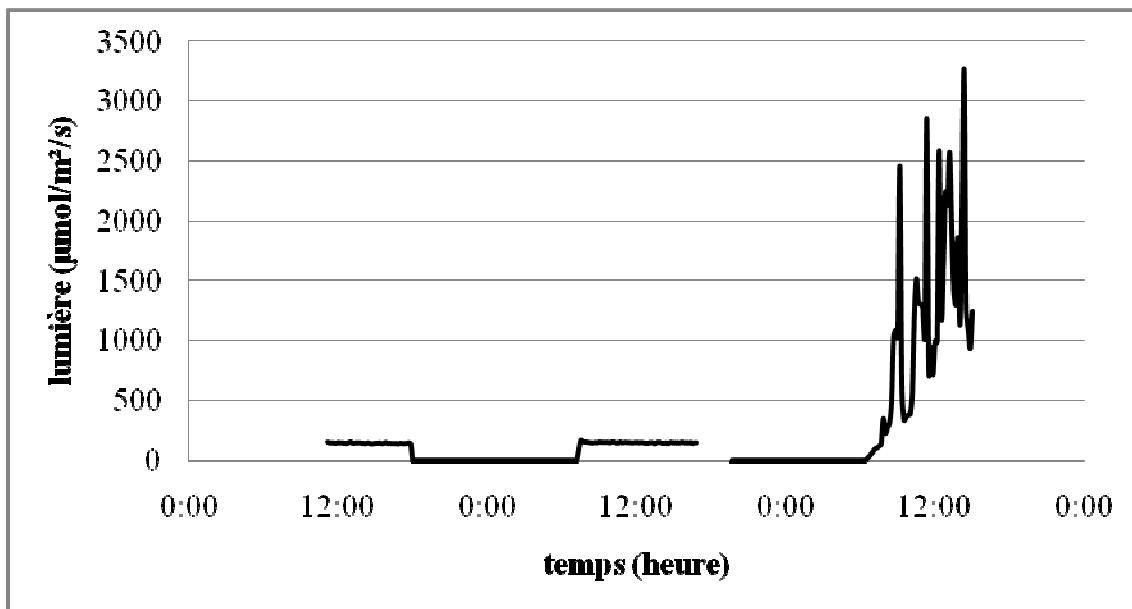
Graphique 6 : taux de survie des bénitiers repeuplés en fonction du lot (nombre de packs de gel).

a. Résultats des paramètres physico-chimiques des milieux d'étude :

Les sondes placées mi juillet dans le bassin de stabulation et sur le site de réensemencement ont permis de récupérer des informations sur les caractéristiques environnementales de ces milieux : la température et le pH de l'eau, le pourcentage d'oxygène dissous et la luminosité (la turbidité).

La température est un paramètre fondamental pour l'évaluation des caractéristiques des masses d'eaux car elle joue un rôle important dans la variabilité des cycles biologiques. La mesure de la température est indispensable pour l'interprétation ou le traitement d'autres paramètres (salinité, oxygène dissous,...). La salinité représente la masse de sels dissous contenue dans un kilogramme d'eau de mer qui s'exprime sans indication d'unité. La turbidité évalue la transparence de l'eau par la perte de lumière résultant de sa traversée. Elle est fonction des particules en suspension dans l'eau et varie en fonction des apports des fleuves, de la remise en suspension du sédiment et de la concentration en plancton. Elle est mesurée en micromole par mètre carré par seconde (cette mesure correspond au nombre de photons qui arrivent sur un mètre carré par seconde). L'oxygène dissous est un paramètre vital pour la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques. En dessous de certaines concentrations, de nombreuses espèces meurent. Les concentrations en oxygène dissous dans l'eau de mer dépendent de facteurs physiques (température, salinité, mélange de la masse d'eau), chimiques (oxydation et réduction) et biologiques (photosynthèse, respiration) (site de l'ifremer). On peut exprimer la teneur en oxygène dans l'eau en pourcentage de saturation. Ce dernier relativise la teneur mesurée par rapport à la concentration à saturation. Il donne donc une indication sur le degré d'équilibre pour l'oxygène, entre l'air et l'eau. Lorsque qu'il est inférieur à 100 %, l'eau est sous-saturée en oxygène, et lorsque qu'il est supérieur à 100 %, l'eau est sursaturée en oxygène (site internet Aqualog).

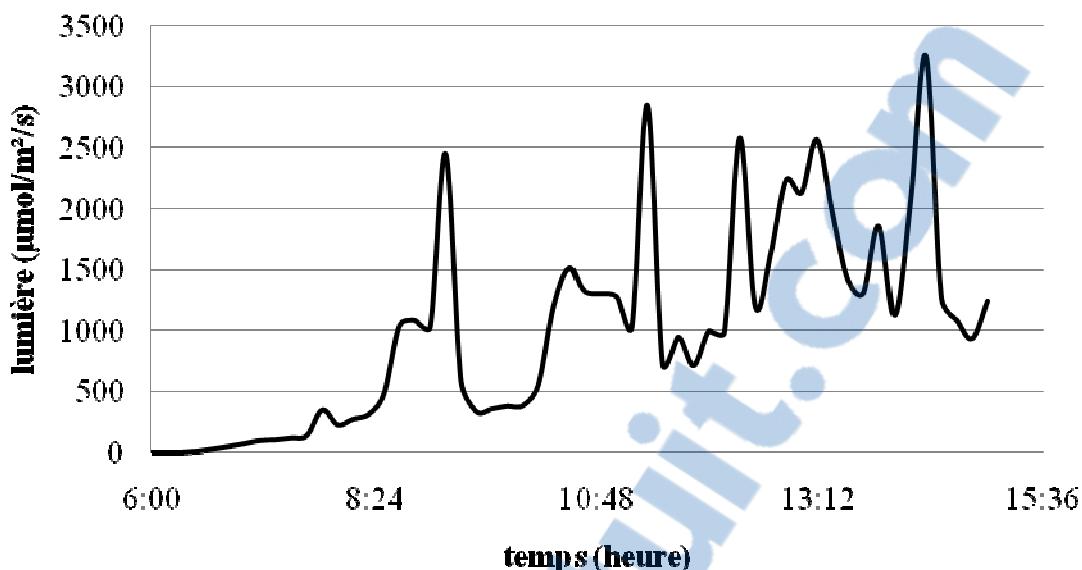
Le graphique 7 montre la variation de l'énergie lumineuse au niveau des 2 milieux d'étude. La première partie correspond au bassin de stabulation, et à partir du 18 juillet, il s'agit du site de réensemencement (la coupure entre les 2 correspond au voyage entre les 2 sites).



Graphique 7 : Energie lumineuse reçue dans le bassin de stabulation de la TEC et au niveau du site de réensemencement de Moorea entre le 16-07 et le 17-07.

Les premiers paliers correspondent aux cycles journaliers des lumières du bassin de stabulation avec la journée du vendredi 16 juillet, puis la nuit, et la journée du samedi 17 juillet. Les variations correspondent aux conditions lumineuses présentes sur le site de réensemencement de Moorea. L'intensité lumineuse dans le bassin de stabulation a une moyenne de 145,48 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ avec un écart type de 8,103. Alors que celle du site est en moyenne de 1099,59 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ avec un écart type de 936,411. Mais la mesure n'a pu être faite que jusqu'à 15h (sur un cycle journalier total, l'intensité lumineuse moyenne serait relativement différente). Néanmoins, on peut clairement observer l'écart d'apport lumineux entre les 2 milieux analysés, étant quaiement d'un facteur 8.

Voici plus en détail sur le graphique 8 la variation de la lumière sur le site de réensemencement à la hauteur maximale des bénitiers. Les variations correspondent aux changements d'intensité lumineuse dues aux nuages. On observe clairement l'augmentation de l'intensité lumineuse au fil de la journée.



Graphique 8 : variation de la luminosité sur le site de réensemencement entre 6h et 15h30 le 17-07.

Le tableau 5 montre les données concernants les paramètres physico-chimiques des 2 milieux. Il présente les moyennes et les écart-types des paramètres procurées par les sondes (température, pH, salinité, oxygène dissous, luminosité).

Tableau 5 : paramètres physico-chimiques des 2 sites étudiés (bassin de stabulation de la TEC, site de réensemencement de Moorea).

Paramètres environnementaux	Bassin de stabulation	Site de réensemencement
Moyenne température (°C)	27,12	26,64
Ecart type température	0,177	0,425
Moyenne pH	8,25	8,27
Ecart type pH	0,007	0,047
Moyenne salinité (%)	36,3	36,28
Ecart type salinité	0,051	0,057
Moyenne O2 dissous (%)	100,53	92,8
Moyenne luminosité (μmol/m²/s)	145,48	1099,59
Ecart type luminosité (μmol/m²/s)	8,103	936,411

Pour l'ensemble des paramètres analysés, mis à part la luminosité nous voyons clairement la relative similarité des données. Hors luminosité, la variation la plus importante entre les 2 milieux étudiés concerne le pourcentage d'oxygène dissous, passant de 100 % dans le bassin (état de saturation), à quasiment 93 % sur le site de réensemencement (sous saturation).

Les processus biologiques ayant une influence sur l'oxygène dissous sont la photosynthèse des organismes végétaux. L'oxygène est un déchet de ce processus, et est rejeté dans le milieu. La teneur en oxygène dissous change en permanence sous l'influence de processus chimiques, physiques et biologiques (site internet d'aqualog).

V. Discussion :

1. Transport local et stabulation :

Afin de déterminer une influence significative des différents paramètres de transport sur les taux de survie des bénitiers importés, nous avons dressé le tableau 6 ci-dessous présentant dans les colonnes le niveau des bénitiers dans la glacière (haut, moyen et bas), la classe de taille des bénitiers (A : 8 à 10 cm et B : 10 et 14 cm), le type d'isolation de la glacière (tissu ou serpillère), le nombre de packs de gel par glacière, le taux de survie à une semaine et le taux de survie à 2 semaines. Les lignes du tableau correspondent aux différents arrivages analysés.

Tableau 6 : tableau synthétique des conditions de transport et des taux de survie des arrivages de bénitiers

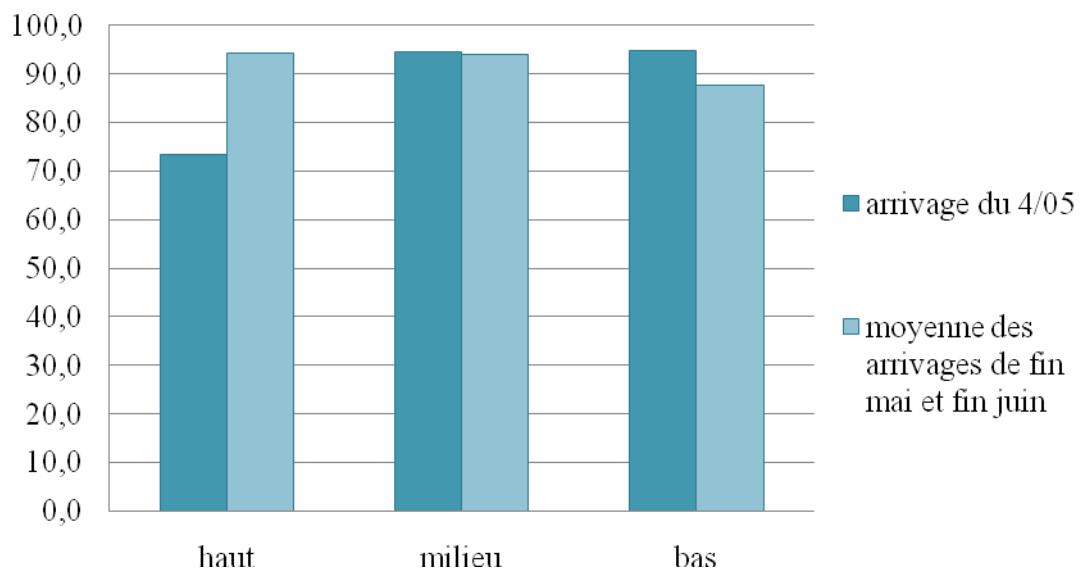
arrivage	glaciere	niveau	nb bénitiers par niveau	classe de taille (A: 8-10 CM, B: 10-14 CM)	isolation (T/S)	nb gel packs	taux de survie 1 semaine	taux de survie 2 semaines	taux de survie moyen sur 1 semaine	taux de survie moyen sur 2 semaines
A		H	30	B	T		0,733	0,700	0,875	0,8380
A		M	36	B	T		0,944	0,917		
A		B	39	B	T		0,949	0,897		
B		H	50	B	S		0,900		0,8547	
B		M	51	B	S		0,882			
B		B	55	B	S		0,782			
C	1	H	25	A	S	4	1	0,821	1	0,8214
C	1	M	27	A	S	4	1	0,821		
C	1	B	24	A	S	4	1	0,821		
C	2	H	23	A	S	3	1	0,915	0,9860	0,9149
C	2	M	21	A	S	3	1	0,915		
C	2	B	24	A	S	3	0,958	0,915		
C	3	H	23	A	S	2	0,956	0,813	0,9707	0,8125
C	3	M	24	A	S	2	1	0,813		
C	3	B	23	A	S	2	0,956	0,813		

Nous avons réalisé différentes analyses statistiques grâce au logiciel *Sigmastat*, afin de déterminer s'il y avait une influence significative de ces différents paramètres sur les taux de survie des bénitiers importés.

Les analyses ont montré qu'il n'y avait pas d'influence statistiquement significative du type d'isolation utilisé (tissu ou serpillère), du niveau dans lesquels étaient placés les bénitiers dans la glacière (cf. annexes : page 15), du nombre de packs de gel dans les glacières (cf. annexes : page 16), sur le taux de survie des bénitiers transportés. Cependant ces résultats peuvent s'expliquer par des tailles d'effectifs clairement limitées, mais aussi par un jeu de données faible étant donné le nombre d'arrivages analysés. Nous n'avons pu analyser que 3 arrivages, répartis en 15 glacières. On se rend compte que pour l'analyse de certains paramètres comme le taux de survie sur 2 semaines de stabulation et la classe de taille des bénitiers s'est fait sur des effectifs encore plus faibles, difficilement exploitables statistiquement.

Par contre on peut tout de même observer des variations sur les taux de survie, en fonction de certains paramètres. On constate par exemple sur le graphique 9, qu'en comparant les 2 derniers arrivages (celui de fin mai et de fin juin), qui possédaient une serpillère comme type d'isolation thermique, à l'arrivée de début mai qui possédait un tissu fin ; les taux de survie au bout d'une semaine de stabulation pour les bénitiers situés en haut de la glacière (c'est-à-dire en contact direct avec l'isolant) sont nettement différents l'un de l'autre. Pour la moyenne des 2 derniers arrivages, on obtient quasiment 95 % de survie, alors que pour l'arrivée précédent on obtient à peine plus de 70 % de survie pour ces bénitiers au bout d'une semaine. On observe donc un écart du taux de survie de plus de 20 %. Ce résultat montre clairement l'influence de l'isolation thermique, pour les bénitiers placés en contact avec l'isolant. Dans le cas de l'utilisation d'un tissu fin, les coquillages sont en contact très proche avec les packs de gel, ce qui conduit à une baisse de température trop extrême pour ces bénitiers. Par contre, lorsque les packs sont entourés avec un isolant plus épais, les bénitiers situés en haut n'atteignent pas une température dangereuse pour leur survie, et on obtient des taux de survie tout à fait corrects. C'est pourquoi opter pour ce type d'isolant, avec une quantité de packs de gel adéquat à la taille de la glacière et aux nombres de bénitiers présents semble être la solution la plus efficace pour un transport inter-îles entre les Tuamotu et Tahiti.

Néanmoins, l'histogramme ne nous permet pas d'observer une variation des taux de survie en fonction du niveau sur lesquels se trouvent les coquillages. On en déduit avant tout que la variation présente provient d'abord de l'isolation thermique présente dans la glacière. Les taux de survie des bénitiers situés au milieu et en bas de la glacière ne semblent pas être influencés par le type d'isolant.



Graphique 9 : taux de survie des bénitiers des différents arrivages (celui du 4 mai avec isolation fine, et la moyenne des autres avec isolation épaisse), en fonction du niveau dans la glacière après une semaine de stabulation.

Concernant le nombre de packs de gel par glacière, cet essai d'amélioration des taux de survie n'a été fait que sur le dernier arrivage. C'est pourquoi les données ne sont pas suffisantes pour être exploitées statistiquement. Néanmoins, on peut constater que les résultats obtenus présentent une variation notable après 2 semaines de stabulation. La première semaine, les différences entre les taux de survie des 3 glacières sont infimes, nous n'obtenons pas d'influence du nombre de packs de gel sur la survie des bénitiers. Par contre au bout de 2

semaines, les fortes mortalités ont succédées à des pluies abondantes durant le weekend, dégradant de ce fait la qualité de l'eau prélevée. Si on prend en compte les taux de survie moyens sur les 3 semaines de stabulation, on se rend compte que la glacière contenant 3 packs de gel possède un taux de survie moyen plus élevé que les 2 autres, avec 90 % de survie. Les 2 autres glacières se situent autour de 85 %. C'est pourquoi on ne peut noter une influence notable de la quantité de packs de gel à disposer dans les glacières de transport, du moment qu'elle est comprise entre 1,3 Kg et 1,7 Kg de froid. Une analyse plus poussée est souhaitable pour étudier l'influence de ce paramètre sur le taux de survie des bénitiers lors d'un transport. Par contre, une quantité de 1,6 Kg de froid pour le type de glacière utilisée semble présenter des résultats prometteurs pour le développement de projets de transports.

En revanche, parmi les paramètres étudiés, l'analyse a montré que certains ont une influence statistiquement significative sur le taux de survie des bénitiers mis en stabulation dans ces conditions. Les taux de survie ont été analysés en fonction du temps de mise en stabulation. Une comparaison des données a été faite à l'aide d'un test de *Mann-Whitney*. Il s'agit d'un test non paramétrique permettant de montrer si les médianes de 2 groupes sont significativement différentes (ce test est utilisé lorsque les conditions d'applications du test de *Student* ne sont pas vérifiées, c'est-à-dire que les données ne suivent pas une loi Normale et qu'il n'y a pas une égalité des variances). Il a permis de mettre en évidence l'influence du nombre de semaines sur la survie des bénitiers.

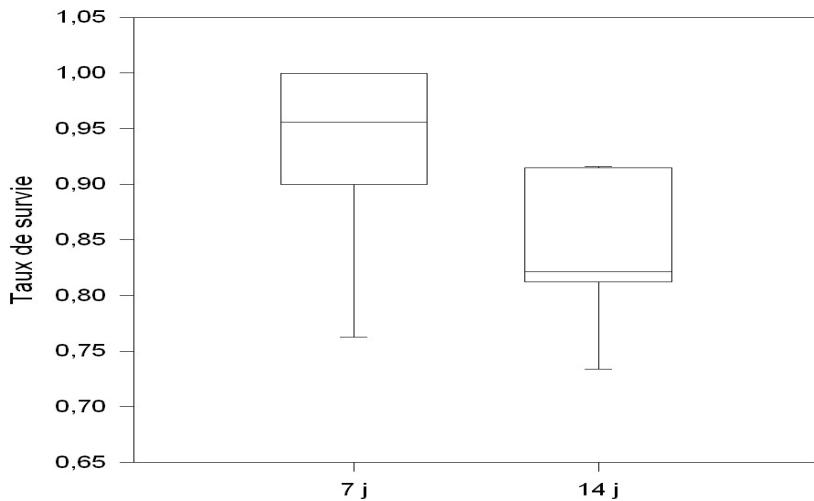
Résultats du test de *Mann-Whitney* :

Normality Test: Failed (P < 0,05)

Group	N	Median	25%	75%
7 j	15	0,956	0,911	1,000
14 j	15	0,821	0,813	0,915

Mann-Whitney U Statistic= 149,000; T = 109,000; n (small) = 12; n (big) = 15; (P = 0,004).
“The difference in the median values between the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = 0,004)”

Les 2 dernières colonnes correspondent au premier et troisième quartiles, ce qui définit les limites inférieures et supérieures des valeurs observées (taux de survie). La statistique « T » présente la somme des rangs du premier groupe sélectionné. Cette valeur est comparée à la population de tous les rangs possibles afin de déterminer la probabilité de cette statistique « T » de se produire.



Graphique 10 : boxplot du Test de Mann-Whitney présentant le taux de survie en fonction du nombre de semaine de stabulation.

Le graphique ci-dessus, appelé boite à moustache représente les quantiles et la médiane des données analysées. Les limites des boites correspondent aux premier et troisième quartiles (25%, 75%), la barre horizontale dans la boite est la valeur médiane du groupe analysé. La médiane du taux de survie à une semaine est de 0,95 et celle du taux de survie à 2 semaines et d'environ 0,82.

On constate que la *P value* du test est de 0,004. On peut donc affirmer qu'on a 0,4 % de chance de se tromper en disant qu'il y a une différence significative entre les valeurs médianes des 2 groupes et qu'elle est trop grande pour être due au hasard, avec un risque d'erreur standard de 5 % ($\alpha=0,05$). On peut traduire ce résultat statistique de la manière suivante, plus les bénitiers sont placés longtemps en stabulation, plus le taux de survie des lots diminue.

C'est pourquoi une durée d'une semaine de stabulation semble préférable à une durée supérieure dans ce type de milieu possédant des conditions environnementales particulières. Il est nécessaire de déterminer l'avenir des arrivages de bénitiers, afin de minimiser la mortalité des lots et donc des pertes financières pour l'éleveur.

Un autre paramètre important analysé est la classe de taille des bénitiers. Nous avons pour cela comparé l'arrivée de fin juin, comprenant des bénitiers de tailles plus petites que les arrivages précédents. Les bénitiers mesuraient entre 8 et 10 cm en moyenne. Nous avons ici utilisé une ANOVA à 2 facteurs (analyse de variances). Ce test paramétrique compare l'effet de 2 facteurs différents aux moyennes de 2 groupes ou plus. Cependant, les conditions d'applications de ce test n'étant pas respectées, nous avons réalisé un test non paramétrique de *Kruskall et Wallis*.

Résultats de l'ANOVA :

Normality Test: Failed ($P < 0,050$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0,687$)

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
isolation (T/S)	1	0,000651	0,000651	0,185	0,675
classe de taille (A/B)	1	0,0385	0,0385	10,970	0,006
Residual	12	0,0422	0,00351		

Total 14 0,0951 0,00679

The difference in the mean values among the different levels of classe de taille (A/B) is greater than would be expected by chance after allowing for effects of differences in isolation (T/S). There is a statistically significant difference ($P = 0,006$). To isolate which group differ from the others use a multiple comparison procedure.

Power of performed test with alpha = 0,05: for isolation (T/S) : 0,05

Power of performed test with alpha = 0,05: for classe de taille (A/B) : 0,838

Comparisons for factor: classe de taille (A/B)

Comparison: Diff of Means: t:	P value:	Critical Level:	Significant:
A vs. B 0,131 3,312	0,0062	0,050	Yes

Interprétation de l'ANOVA :

Le tableau présente le nombre de degré de liberté (DF), la somme des carrés (SS) correspondant à la mesure de la variabilité associée avec chaque élément de l'ANOVA, les carrés moyens (appelé MS, $MS = SS / DF$ facteur), la statistique « F », et la « P value » des données analysées.

Lorsque le facteur « F » est proche de 1, on peut conclure qu'il n'y a pas de différence significative entre les facteurs (pas d'interactions entre les facteurs). Si « F » est un nombre élevé, on peut conclure qu'au moins un des échantillons pour ce facteur est différent.

La sensibilité (power of performed test) est la probabilité que le test détecte une différence parmi les groupes. Plus la sensibilité est proche de 1, plus le test est sensible. Si une différence est trouvée, la table de comparaison permet de déterminer exactement quels groupes sont différents, alors que l'ANOVA nous informe uniquement sur le fait que 2 groupes ou plus sont différents. Lorsque la statistique « t » est « élevée », on peut conclure que la différence entre les 2 groupes comparés est statistiquement significative (la différence des moyennes est une jauge de la taille de la différence entre les groupes comparés).

L'ANOVA a donc montré une différence statistiquement significative entre les 2 groupes étudiés (classe de taille A et classe de taille B). On peut traduire ce résultat en affirmant que les bénitiers de petite taille ont un taux de survie dans le bassin de stabulation plus important au bout d'une semaine. Ceci est peut être dû à plusieurs facteurs, notamment biologiques.

Premièrement, lors de l'installation des bénitiers dans le bassin de stabulation, les coquillages ont accumulés une grande part de stress dû à la préparation, au voyage et aux manipulations. Ce stress se traduit physiologiquement par une ponte massive la nuit suivant la mise en place des bénitiers dans le bassin, et parfois même le jour suivant. Par contre pour les individus de petite taille, leurs gonades ne sont pas aussi développées que les individus adultes. Certains de ces coquillages peuvent ne pas avoir atteints la maturité sexuelle (les bénitiers n'ont pas de gonades femelles avant 3 à 7 ans). Ceci conduit à une ponte beaucoup moins importante, et de ce fait, les bénitiers sont beaucoup moins affaiblis par cet effort de ponte. L'arrivée de fin mai par exemple a été placé en stabulation le mardi soir vers 18 h, les bénitiers ont pondus toute la nuit et les derniers individus ont cessé le mercredi soir vers 21 h. Pour l'arrivée de fin juin, les bénitiers ont peu pondus le jour suivant leur installation, et l'eau était nettement moins trouble. De ce fait, les bénitiers de petite taille perdent moins d'énergie lors de cet état de stress et récupèrent plus rapidement. C'est pourquoi le taux de survie moyen au bout d'une semaine de stabulation pour l'arrivée de fin juin est de 98,56 % alors que celui de fin mai par exemple est de 85,47 %.

Ensuite, il semble que les individus plus petits résistent mieux aux techniques de transport à sec. Ceci est probablement dû à une meilleure imperméabilité de leur coquille lorsqu'ils se ferment une fois sorti de l'eau (les tests de transports réalisés aux Tuamotu ont montré des taux de survie de 95 %, alors que les individus supérieurs à 15 cm présentent un taux de survie beaucoup plus faible avec ce type de transport à sec).

Par contre, le taux de survie moyen de l'arrivée de fin juin au bout de 2 semaines de stabulation est difficilement exploitable. Il est relativement similaire à celui de début mai (84,96 % contre 83,8 % pour début mai). Cette décroissance nette du taux de survie entre la première et la deuxième semaine s'explique principalement par de fortes pluies continues lors du vendredi 2 et du samedi 3 juillet. Ces pluies ont apporté une grande quantité d'eau douce et de terre dans la marina où l'eau est prélevée. La qualité de l'eau dans le bassin s'est donc dégradée (variation de la température, de la salinité, et du pH ; paramètres qui ont une influence direct sur l'oxygène dissous comme on l'a vu plus haut).

Pour conclure sur l'analyse du transport local, on peut dire qu'un ensemble de facteurs tels que le stress causé par le transport, la variation des conditions de vie, et la faible proportion d'apport lumineux par rapport au milieu naturel, semblent correspondre aux principales raisons entraînant une légère diminution des taux de survie des bénitiers placés en stabulation dans un milieu tel que le bassin de la TEC. Par contre, il faut signaler sur l'ensemble des arrivages analysés les bons résultats de survie obtenus, ne descendant jamais en dessous de 80 % après une semaine de stabulation. Cependant, la survie diminue au fil des semaines. C'est pourquoi il serait préférable d'organiser le devenir des arrivages rapidement après leur mise en stabulation, tout en les acclimatant suffisamment afin de les adapter aux nouvelles conditions de vie. Pour finir, on peut souligner dans l'ensemble que peu d'arrivages ont été analysés. Il faudrait continuer ces tests afin d'obtenir plus de réplicas. Ceci aurait pour but de réaliser des analyses statistiques plus poussées, et mieux exploitables.

2. Transport international :

Concernant ces expérimentations, les résultats des expéditions via la France et les Etats-Unis semblent relativement incohérents. Le taux de survie de l'expédition en France est nettement plus important que celui de l'expédition aux Etats-Unis, avec un écart de 20 % entre les deux, une semaine après l'arrivée alors que le voyage jusqu'en France est plus de 2 fois plus important en terme de durée. Premièrement, nous ne connaissons pas les conditions de vie des milieux dans lesquels les bénitiers ont été entreposés une fois arrivée à destination (température, luminosité, pH, brassage de l'eau, densité de bénitiers). Nous ne pouvons pas dire si les conditions environnementales dans lesquelles ont été placés les bénitiers sont différentes ou non de celle du bassin de la TEC, et ainsi conclure sur la facilité d'acclimatation des bénitiers. Ensuite, nous ne pouvons pas non plus décrire les conditions de transports de ces 2 expéditions. Les variations de température en vol et une fois arrivée à l'aéroport sont inconnues. De plus les lots expédiés étaient relativement similaire au niveau de la taille des individus (environ 12 cm), le lot envoyé aux Etats-Unis comportait des individus légèrement plus grands à 2-3 cm près. Et pour finir, les techniques de préparation des expéditions ont été identiques.

Les résultats présentés sur le graphique 2 montrent une légère différence entre les taux de survie au bout d'une semaine de stabulation pour le lot envoyé en métropole (88,6 %) et pour celui envoyé en Californie (85,2 %). Le paramètre principal qui diffère entre ces 2 lots, est le nombre de semaines de stabulation dans le bassin de la TEC. Le lot envoyé en France a passé 2 semaines dans le bassin, alors que celui envoyé en Californie n'en a passé qu'une et provient de l'arrivée de fin mai qui a réalisé un effort de ponte considérable en comparaison

avec les autres arrivages. Il paraît donc fort probable que ces bénitiers étaient dans un état physiologique affaibli, et n'ont pu récupérer pleinement suite à une unique semaine de stabulation. Cette hypothèse paraît être la plus probable mais n'explique pas à elle seule une telle variation des taux de survie, surtout face à de tels temps de transport.

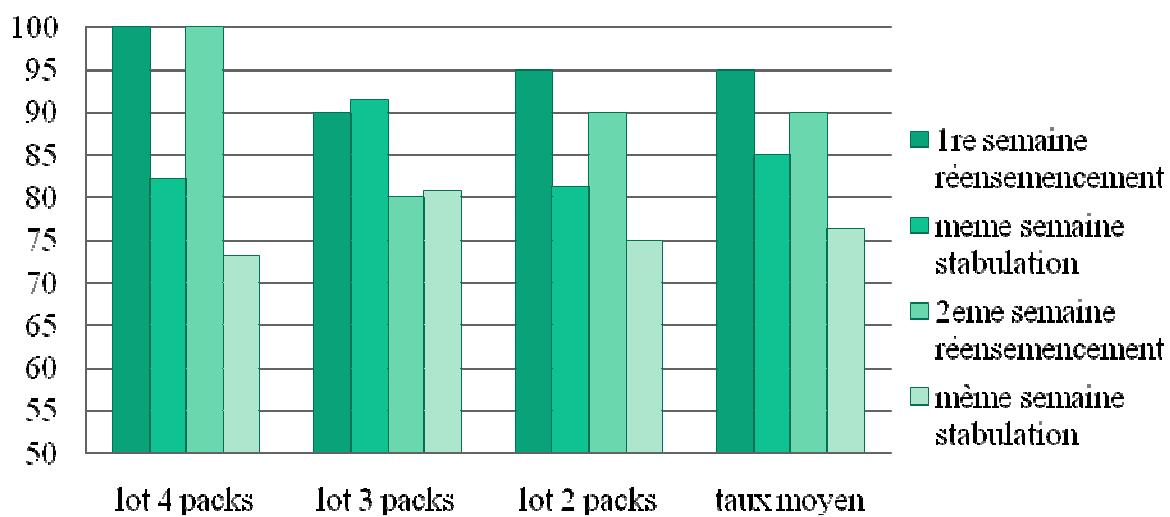
Il serait nécessaire de réaliser de nouveaux tests de transports. Un point à analyser pourrait être l'impact de la mise en stabulation, en réalisant plusieurs envois avec des lots restés une semaine en stabulation, et des lots restés 2 semaines en stabulation vers la même destination. On pourrait aussi analyser le facteur taille des bénitiers, en envoyant des lots de taille différente vers la même destination. Ces tests permettraient d'identifier clairement quels facteurs influencent significativement la survie lors de transports internationaux (durée de transport importante). Il serait également nécessaire d'analyser d'un point de vu économique, le ratio durée de stabulation/rapidité d'envoi international, on a constaté que plus les bénitiers restent longtemps en stabulation plus la mortalité est importante, mais il semblerait que plus l'expédition est faite rapidement, plus la mortalité à l'arrivée est élevée.

Nos travaux ont pu montrer quant à eux la faisabilité et la viabilité de ces transports, notamment avec l'expédition faite en France, qui présente un taux de survie correct après un voyage si important pour des bénitiers placés dans des conditions de vie limitée.

3. Réensemencement :

Dans cette étude, nous avons comparé les résultats obtenus en milieu naturel avec les bénitiers restés en stabulation dans le bassin de la TEC.

L'histogramme 10 présente les taux de survie des 2 milieux étudiés (bassin de stabulation et site de réensemencement), en fonction de nombre de semaines après la mise en place de l'expérimentation. Il faut noter qu'avant la réalisation du réensemencement, la totalité des bénitiers étudiés ici ont passé une semaine dans le bassin de stabulation.



Graphique 11 : comparaison des taux de survie des bénitiers en fonction du milieu étudié (bassin de stabulation et site de réensemencement) et du nombre de semaine.

Ce graphique souligne le fait que les bénitiers repeuplés présentent en moyenne des taux de survie nettement supérieurs aux bénitiers restés en stabulation. Grâce aux données récupérées par les sondes de détection des paramètres physico-chimiques, ce résultat semble être principalement dû à la régularité des conditions environnementales du milieu naturel. Les bénitiers repeuplés se sont parfaitement adaptés à leur nouveau milieu de vie. L'unique lot qui

ne présente pas de variation entre les 2 milieux est celui de la glacière à 3 packs de gel. Comme décrits dans les résultats, ce lot est légèrement moins ensoleillé à cause de l'ombre d'un palmier entre 9 et 11 h du matin environ. Nous ne nous sommes pas rendu compte de cet inconvénient étant donné que l'installation s'est déroulée dans l'après midi. Néanmoins, cette variation des taux de survie sur le site de réensemencement entre le lot à 3 packs et les lots à 2 et 4 packs ne s'explique pas uniquement par cette variation d'apport lumineux ; surtout en prenant en compte la quantité de lumière fournie sur un cycle journalier. Un autre facteur lié au lot doit probablement entrer en compte pour influencer le taux de survie de ce lot. Le transport à sec étant d'une durée de 2 h lors de cette étude est trop court pour avoir une influence relative sur le taux de survie, notamment en observant les très bons résultats des 2 autres lots, transportés dans la même glacière.

Par contre, la variation des taux de survie entre les 2 milieux s'explique clairement grâce aux résultats fournis par les sondes d'analyse des paramètres environnementaux. La plupart des paramètres sont relativement identiques entre les 2 milieux étudiés, mis à part l'apport lumineux. Comme décrit dans les résultats, nous obtenons une différence d'un facteur 8 entre les valeurs relevées dans le bassin et celles relevées sur le site de réensemencement. Nous avons vu dans la partie biologie du bénitier, que la lumière est une ressource primordiale pour les bénitiers, ressource indispensable à leur survie. Cet écart si conséquent semble donc influencer de manière significative la survie des bénitiers dans cette étude.

Nous pouvons signaler les bons résultats obtenus lors de cette étude de réensemencement en île haute. Nous avons de très bons taux de survie pendant les 2 premières semaines suivant l'installation. Une fois les grillages plastiques retirés, on remarque une diminution du taux de survie, même une fois que les bénitiers se sont fixés. Ce résultat peut être dû à différentes raisons, soit anthropiques, soit de prédatation. Il faut savoir que les bénitiers sont placés à une profondeur inférieure à 1,50 m et à proximité des logements de l'hôtel au niveau du sentier sous marin (cf. annexes : photo 23 page 12). Les plongeurs passant devant les bénitiers n'ont aucune contrainte pour accéder aux complexes, et peuvent facilement les déloger sans connaître les risques d'arracher le byssus des bénitiers et conduire à la mort des coquillages, ne connaissant pas les caractéristiques biologiques des coquillages. Ensuite, les animaux prédateurs des bénitiers, de nombreuses espèces de poissons, des poulpes, ont également accès aux complexes et peuvent facilement arracher les coquillages de leur support selon la force de fixation des individus. Cependant, une fois les bénitiers arrachés, les prédateurs les consomment sur place, et les coquilles vident devraient être retrouvées au sol, proches des complexes. Le suivi après l'élimination du grillage de protection montre clairement que les individus ont « disparu » de leur support, ce qui signifie qu'on ne retrouve pas les coquilles, on constate juste l'absence de bénitiers présents la veille sur leur support. Cette observation conforte donc l'hypothèse d'une forte influence anthropique sur les taux de survie des bénitiers repeuplés en milieu naturel.

Il faudrait réaliser de nouvelles études en gardant les protections aussi longtemps que possible, pour empêcher l'impact anthropique sur ces projets. Il serait aussi nécessaire de réaliser de nouveaux réensemencements en îles hautes avec un suivi plus poussé pour conforter ces résultats encourageants. Ces repeuplements pourraient être réalisés avec des lots plus importants, comprenant des bénitiers de taille différente pour observer une possible variation selon les caractéristiques physiologiques des bénitiers. Un autre facteur intéressant à analyser serait la croissance des bénitiers dans ce type de milieu en île haute afin de la comparer avec les données des réensemencements réalisés en atoll. Ces études pourraient ainsi permettre de repeupler des zones favorables à un développement des bénitiers, et confronter les populations locales aux problèmes de conservation des espèces en danger.

VI. Conclusion :

Le bénitier est un aliment très prisé dans la culture polynésienne. Son exploitation ainsi que les exportations de sa chair ont été responsables de l'épuisement des stocks, et bien que les opérations de pêche menées par des navires étrangers soit en grande partie responsables de l'épuisement des espèces les plus grandes, le bénitier est également victime de la pression exercée par les pêcheurs pratiquant une activité de subsistance et semi commerciale (Teitelbaum et Friedman, 2008). De plus, les pêcheurs récusent certaines informations scientifiques qui ont été mal comprises lors des réunions avec le SPE. Ils ne sont pas d'accord avec la durée de 5 à 7 ans nécessaire à un bénitier pour atteindre "l'âge adulte". Il existe une confusion chez les pêcheurs entre "l'âge adulte" qui correspond d'un point de vue écologique, à la maturité sexuelle de l'animal, et la taille légale pour la pêche soit 12 cm (Larrue, 2006). D'autres parts, le développement de l'aquaculture pose d'autres problèmes. Le cout élevé du transport augmente considérablement le coût de production et l'exportation de produits issus de l'aquaculture. La médiocrité des services de transports internes, restreignent les possibilités de culture de produits périssables dans des zones éloignées et limitent les liaisons aériennes internationales et la capacité de fret aérien. Ceci affecte la continuité de l'approvisionnement et le volume potentiel des marchés d'exportation. Le développement de l'aquaculture dans ces zones exige donc que les espèces élevées pour l'exportation soient de grande valeur (Bell et Gervis, 1999).

Pour réagir à ces problèmes, le développement des moyens de transports à différentes échelles géographiques et les nouvelles méthodes de collectage et de réensemencement en bénitiers offrent une très bonne alternative d'exploitation et de valorisation de cette ressource ainsi qu'une nouvelle activité économique pour les atolls isolés. Les résultats relevés dans cette étude ont clairement pu mettre en évidence la viabilité de ces projets.

Toutefois, l'adaptation de la réglementation locale et les permis CITES restent des étapes indispensables à réaliser avant que cette nouvelle source de revenus puisse pleinement se développer (Gilbert *et al.*, 2006b).

Enfin, la consultation des parties prenantes joue un rôle primordial dans la réussite de la reconstitution des stocks. Pour que les scientifiques, les autorités locales et les populations locales parviennent à un accord, il est nécessaire de mener des campagnes de sensibilisation et d'information. Il faut veiller tout particulièrement à ce que les programmes de repeuplement encouragent la participation directe des populations et des pêcheurs aux activités de réensemencement et de renforcement des stocks, et prennent en compte les zones à valoriser pour le collectage (Teitelbaum et Friedman, 2008). Les organismes de recherche, les organismes de développement et les gouvernements doivent également être conscients des contraintes particulières (techniques notamment) au développement de l'aquaculture dans ces milieux insulaires (Bell et Gervis, 1999).

Les objectifs de ces projets de repeuplement des milieux naturels sont (site internet du SPE) :

- De permettre d'engendrer de façon durable des revenus complémentaires aux populations des îles éloignées
- D'offrir de nouvelles activités aux populations des îles disposant des facteurs environnementaux favorables au succès du collectage
- D'initier et de développer des actions de réensemencement à but :
 - ❖ Halieutique, dans les zones de pêche réglementées des îles polynésiennes.

- ❖ Eco-touristique, avec la création de « jardins fleuris sous-marins » (au niveau des Aires Marines Protégées, des sentiers sous-marins, etc).
- De développer une filière « bénitiers » écologique, par une exportation compétitive et durable vers les marchés de l'aquariophilie.
- D'offrir un outil de promotion pour : l'éducation, le tourisme, l'environnement et la gestion durable.

Le repeuplement et le développement des stocks présentent cependant des dangers potentiels. Les juvéniles produits en écloserie peuvent introduire des maladies aux populations sauvages ; de plus, si suffisamment de géniteurs ne sont pas utilisés, les juvéniles élevés en écloserie peuvent également réduire la diversité génétique des populations sauvages (Bell et Gervis, 1999). C'est pourquoi le collectage semble correspondre à une solution viable et valorisable sur le long terme.

Par contre, le problème que l'on peut rencontrer est que les stocks naturels peuvent accumulés des algues toxiques. Suite à des perturbations des récifs coralliens, à la fois naturelles (tempêtes, ouragans, blanchiment des coraux, etc.) et anthropiques (constructions, pollution chimique, eutrophisation), on constate une augmentation des surfaces de coraux morts, servant de substrats aux macroalgues, qui à leur tour, supportent des microalgues potentiellement toxiques. La *ciguatera* (CFP) est une des formes d'intoxication humaine résultant de l'ingestion de certaines espèces de poissons marins tropicaux qui ont accumulé des toxines naturelles dans leur régime alimentaire. Une enquête de l'endémicité de la CFP, menée en 1974 dans l'archipel des Gambier (Polynésie française), a établi que 4 % du total des cas d'intoxications étaient dues à la consommation de bénitiers. Ils ont déterminé la présence de toxines dans l'hépatopancréas de *Tridacna maxima*. Le taux d'intoxication par les bénitiers et d'autres mollusques apparaît faible à première vue, mais il est probablement sous estimé car les populations insulaires du Pacifique ont une forte tradition à manger une grande variété de crustacés, mollusques et poissons, de sorte qu'uniquement ces derniers pourraient être accusés à tort d'avoir causé la maladie (Laurent *et al.*, 2008).

Les cyanobactéries toxiques peuvent entrer dans la chaîne alimentaire des bivalves comme les bénitiers, d'autres mollusques et de poissons herbivores, qui sont par ailleurs considérés comme des espèces à faible risque dans certaines régions du Pacifique comme en Nouvelle-Calédonie, mais peut en fait représenter une menace potentielle pour la santé humaine dans les zones qui abritent des fortes densités de populations de cyanobactéries. Elles prennent de plus en plus d'importance dans les écosystèmes des récifs coralliens du monde entier (Laurent *et al.*, 2008).

Pour ces raisons, les actions de repeuplement doivent être gérées afin d'éviter une éventuelle contamination du milieu et ainsi toucher directement les populations locales dépendantes de ces stocks. C'est pourquoi, il est nécessaire d'agir par des approches « responsables » en élaborant des plans de gestion des espèces (en identifiant les objectifs de reconstitution des stocks), en définissant des mesures quantitatives sur la réussite des projets, en gérant les ressources génétiques afin d'éviter les effets délétères et en identifiant les orientations économiques de ces projets de repeuplement (Bell et Gervis, 1999).

VII. Bibliographie :

Publications :

ANDREFOUET S., GILBERT A., YAN L., REMOISSENET G., PAYRI C., CHANCERELLE Y., 2005. The remarkable population size of the endangered clam *Tridacna maxima* assessed in Fangatau Atoll (Eastern Tuamotu, French Polynesia) using *in situ* and remote sensing data. *ICES Journal of Marine Science*, **62** : 1037-1048.

BELL J. D., GERVIS M., 1999. New species for coastal aquaculture in the tropical Pacific- constraints, prospects and considerations. *Aquaculture international*, **7**: 207-223.

ELLIS S., 1998. Spawning and larval rearing of Giant Clams (Bivalvia: *Tridacnidae*). *Center for tropical and subtropical aquaculture*, **130**: 1-55.

GILBERT A., ANDREFOUET S., YAN L., REMOISSENET G., 2006. The giant clam *Tridacna maxima* communities of three French Polynesia islands: comparison of their population sizes and structures at early stages of their exploitation. *ICES Journal of Marine Sciences*, **63** : 1573-1589.

GILBERT A., ANDREFOUET S., YAN L., REMOISSENET G., STEIN A., 2006a. L'exploitation du Pahua (bénitier, *Tridacna maxima*) dans nos lagons : vers une gestion durable. *Te Vea Tautia la lettre de la pêche - Service de la Pêche PIHA RAVA'AI*, **19** : 1-12.

GILBERT A., REMOISSENET G., YAN L., ANDREFOUET S., 2006b. Singularités et promesses du bénitier, *Tridacna maxima*, en Polynésie française. *Lettre d'information sur les pêches*, **118** : 44-52.

GUEST J., TODD A. P., GOH E., SIVALONGANATHAN B. S., REDDY K. P., 2008. Can giant clam (*Tridacna squamosa*) populations be restored on Singapore's heavily impacted coral reefs?. *Aquatic conservation: marine and fresh water ecosystems*, **18**: 570-579.

HART A. M., BELL J. D., FOYLE T. P., 1998. Growth and survival of the giant clams, *Tridacna deresa*, *T. maxima* and *T. crocea*, at village farms in the Solomon Islands. *Aquaculture*, **165**: 203-220.

KLUMPP D. W., GRIFFITHS C. L., 1994. Contributions of phototrophic and heterotrophic nutrition to the metabolic and growth requirements of four species of giant clam (*Tridacnidae*). *Marine ecology progress series*, **115** : 103-115.

LARRUE S., 2006. La pêche aux bénitiers sur l'île de Tubuai, archipel des australes : entre représentations locales, nécessité économique et réalités écologiques. *Ressources marines et traditions*, **19** : 3-10.

BARROS Thomas : développement de techniques de transport et de réensemencement du bénitier *Tridacna maxima* pour la filière aquacole en Polynésie française.

LAURENT D., KERBRAT A. S., DARIUS H. T., GIRARD E., GOLUBIC S., BENOIT E., SAUVIAT M. P., CHINAIN M., MOLGO J., PAUILLAC S., 2008. Are cyanobacteria involved in Ciguatera Fish Poisoning-like outbreaks in New Caledonia?. *Harmful Algae*, **7** : 827-838.

LAURENT V., PLANES S., SALVAT B., 2002. High variability of genetic pattern in giant clam (*Tridacna maxima*) populations within French Polynesia. *Biological Journal of the Linnean Society*, **77** : 221–231.

OTHMAN A. S., GOH G. H. S., TODD P. A., 2010. The distribution and status of giant clams (family *Tridacnidae*) – a short revue. *The raffles bulletin of zoology*, **58**(1): 103-111.

RICHTER C., ROA QUIAOIT H., JANTZEN C., AL ZIBDAH M., KOCHZIUS M., 2008. Collapse of a new living species of giant clam in the red sea. *Current biology*, **18**: 1-6.

TEITELBAUM A., FRIEDMAN K., 2008. La réintroduction du bénitier dans la région Indo-Pacifique : succès et échecs. *Le troca – bulletin d'information de la CPS*, **14** : 19-26.

TISDELL C. A., TACCONI L., BARKER J. L., LUCAS J. S., 1993. The cost of production of giant clam seed *Tridacna gigas*. *Journal of the World Aquaculture Society*, **24**: 352-360.

TODD P. A., LEE J. H., CHOU L. M., 2009. Polymorphism and crypsis in the boring giant clam (*Tridacna crocea*): potential strategies against visual predators. *Hydrobiologia*, **635** : 37-43.

YEN KAI SUN S., 2008. Bénitier : repeuplement du lagon de Faa'a. *Te Vea Tautai La lettre de la Pêche - Service de la Pêche PIHA RAVA'AI*, **21** : 13-15.

Rapports techniques :

YAN L., 2006. Formation exigible de collectage, transport, élevage et de réensemencement de bénitiers. *Service de la pêche*, 59 p.

YAN L., 2005. Rapport intermédiaire relatif à la mise au point de réensemencements en bénitiers dans des lagons d'îles hautes. *Service de la pêche*, 27 p.

YAN L., 2004. Travaux de collectage, d'élevage et de repeuplement de bénitiers à Fangatau et à Tatakoto. *Service de la pêche*, 24 p.

YAN L., 2003. Rapport final relatif à la mise au point de protocoles de collectage, de transport, d'élevage et de repeuplement de bénitiers à Tatakoto et Fangatau. *Service de la pêche*, 47 p.

Sites internet :

Site du service de la pêche (SPE), l'aquaculture du bénitier :

[http://www.peche.pf/rubrique.php3?id_rubrique=213.](http://www.peche.pf/rubrique.php3?id_rubrique=213)

Site Arkive, d'espèces mondiales en danger :

[http://www.arkive.org/small-giant-clam/tridacna-maxima/info.html.](http://www.arkive.org/small-giant-clam/tridacna-maxima/info.html)

Site d'aquariophilie :

[http://www.recif-france.com/Articles/schumacher/benitiers.htm.](http://www.recif-france.com/Articles/schumacher/benitiers.htm)

Site de l'IFREMER :

[http://wwz.ifremer.fr/envlit/region/basse_normandie/qualite/hydrologie/les_parametres.](http://wwz.ifremer.fr/envlit/region/basse_normandie/qualite/hydrologie/les_parametres)

MASTER 2^{ème} année Biologie Géologie Agro-ressources
Environnement
spécialité Ecologie Fonctionnelle et Développement Durable

Parcours Elevage des Pays du Sud, Environnement et
Développement

**Développement de techniques de transport et de
réensemencement du bénitier *Tridacna maxima*
pour la filière aquacole en Polynésie française**

ANNEXES

BARROS Thomas

Université Montpellier II : Année universitaire 2009/2010

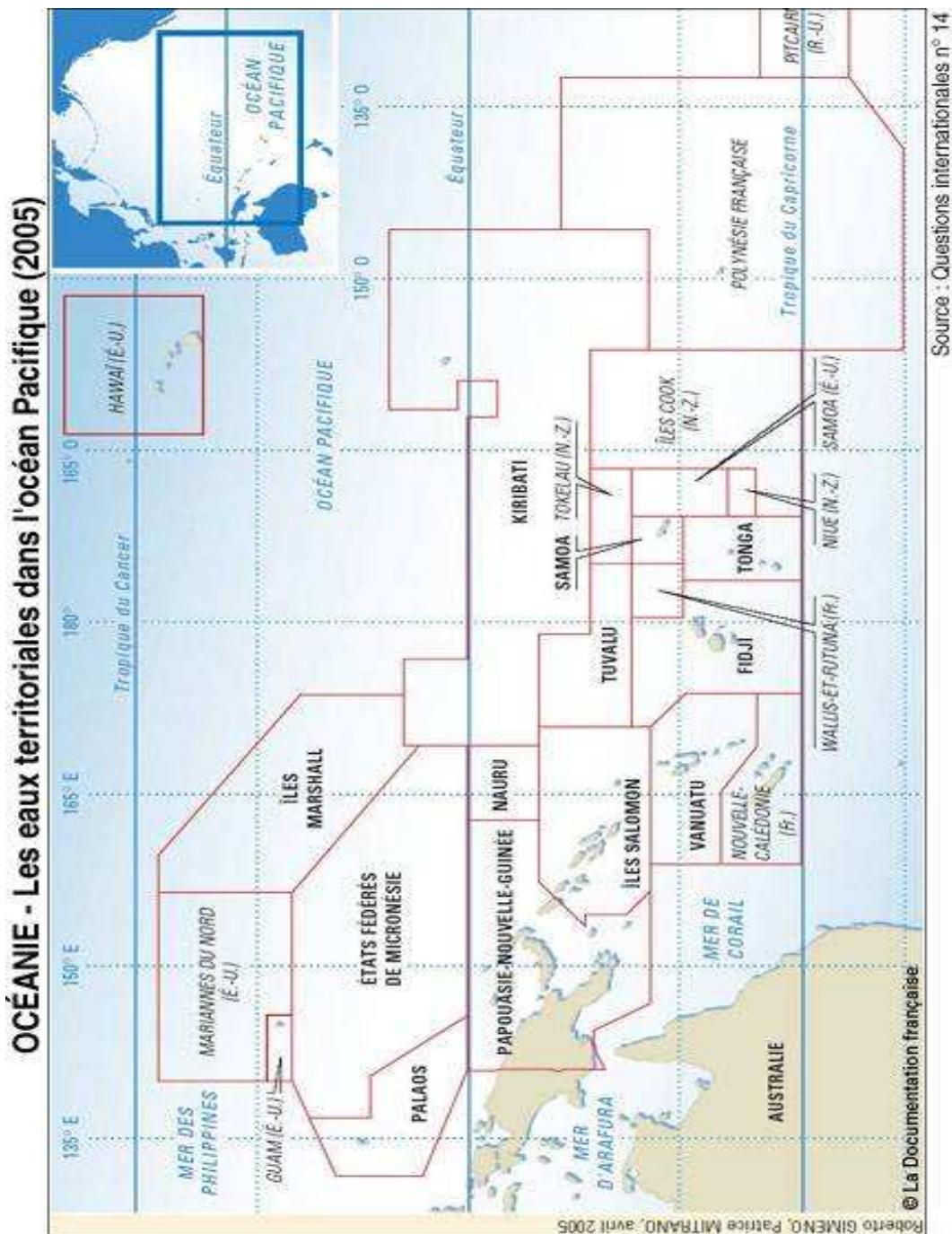
Sommaire :

Contexte local :	3
Carte de l'océan pacifique :	3
Carte de la Polynésie française :	4
Biologie du bénitier :	5
Collectage en Polynésie française :	5
Matériels et méthodes :	7
Bassin de stabulation :	7
Matériels pour l'expérimentation de réensemencement :	9
Déroulement de l'étude de réensemencement :	10
Site de réensemencement :	11
Sonde d'analyses du milieu :	12
Données brutes des analyses de transport local :	13
Résultats des analyses statistiques :	15

Contexte local :

Carte de l'océan pacifique :

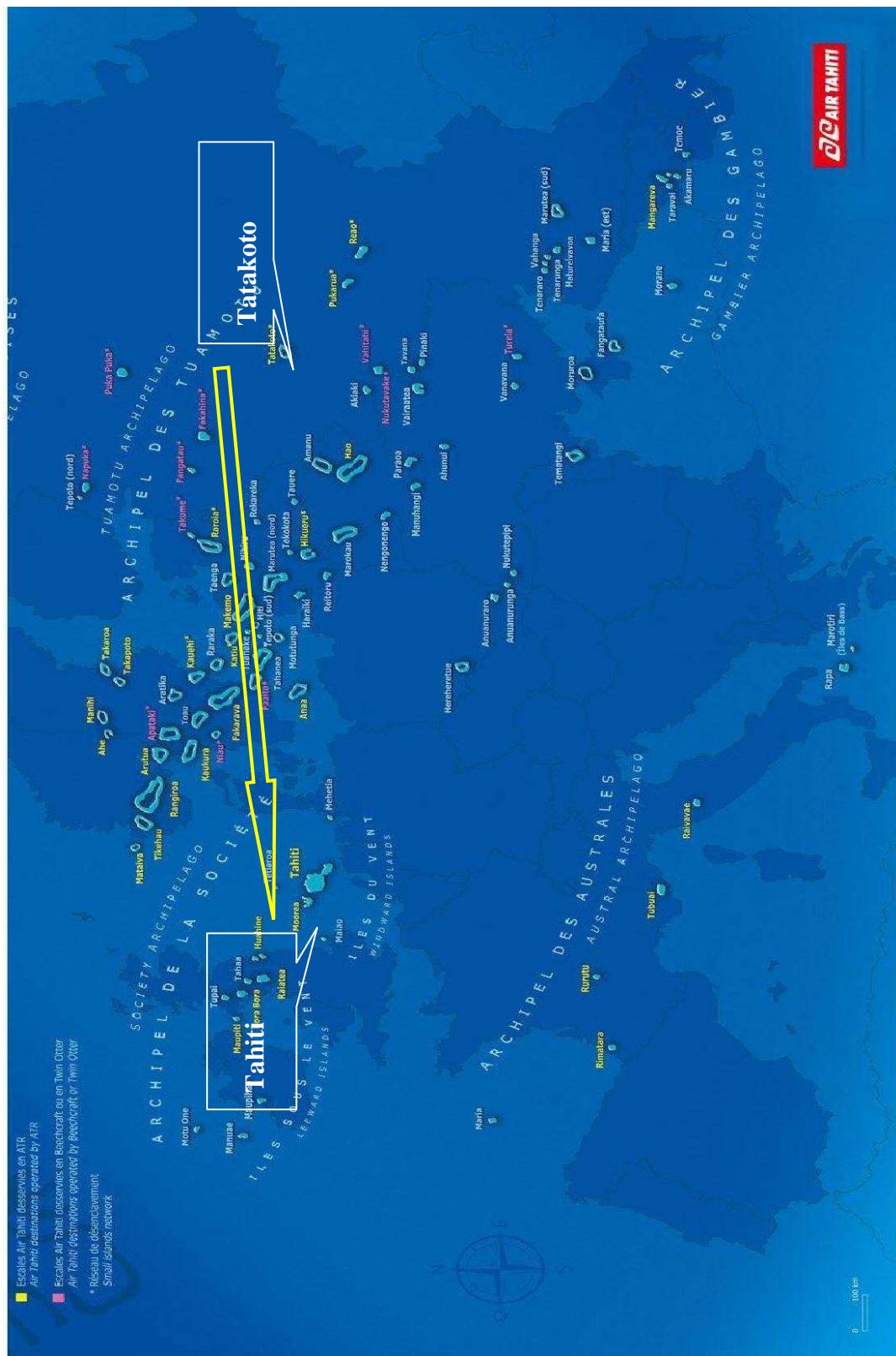
Source : <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/motcle/cartotheque-monde/ocean-pacifique-oceanie.sht>



Carte 1

Carte de la Polynésie française :

Source : http://www.tubuai-evasion.com/Carte_Polynesie_Air_Tahiti.jpg

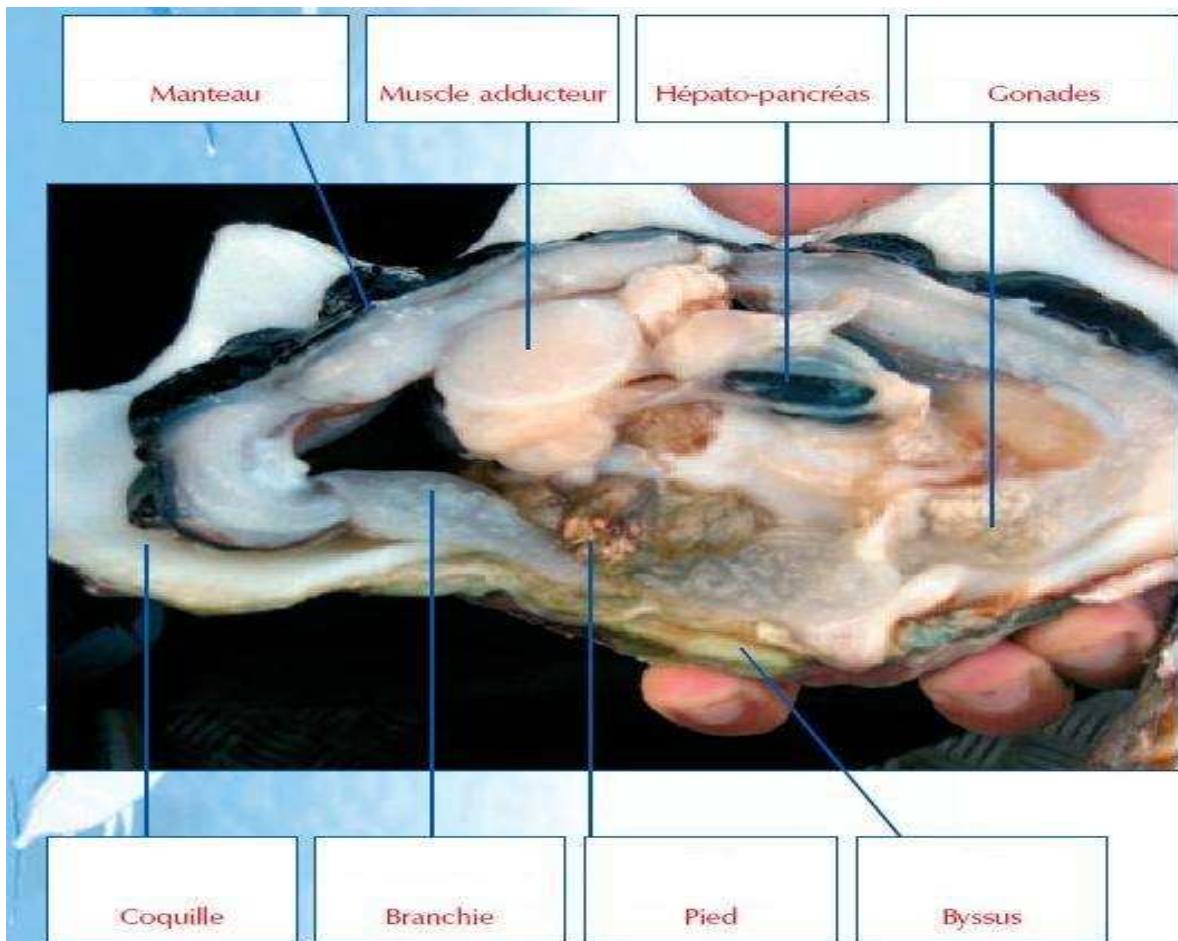


Carte 2

Biologie du bénitier :

Photo 1, anatomie du bénitier (lettre de la pêche, SPE) :

Photo 1



Collectage en Polynésie française :

Photos 2 et 3 (site internet du SPE), bénitiers fixés sur station de collectage :

Photo 2

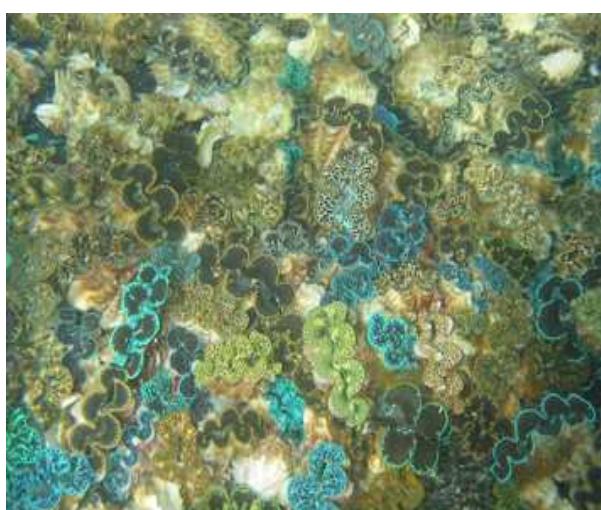


Photo 3



Photos 4 et 5 (site internet du SPE), collecteur de naissains de bénitiers :

Photo 4



Photo 5



Photo 6 (site internet du SPE), station d'élevage en radeaux immersés :

Photo 6



Photo 7 (site internet du SPE), stockage de jeunes bénitiers pour grossissement :

Photo 7



Matériels et méthodes :

Bassin de stabulation :

Photo 8, bassin de stabulation :

Photo 8

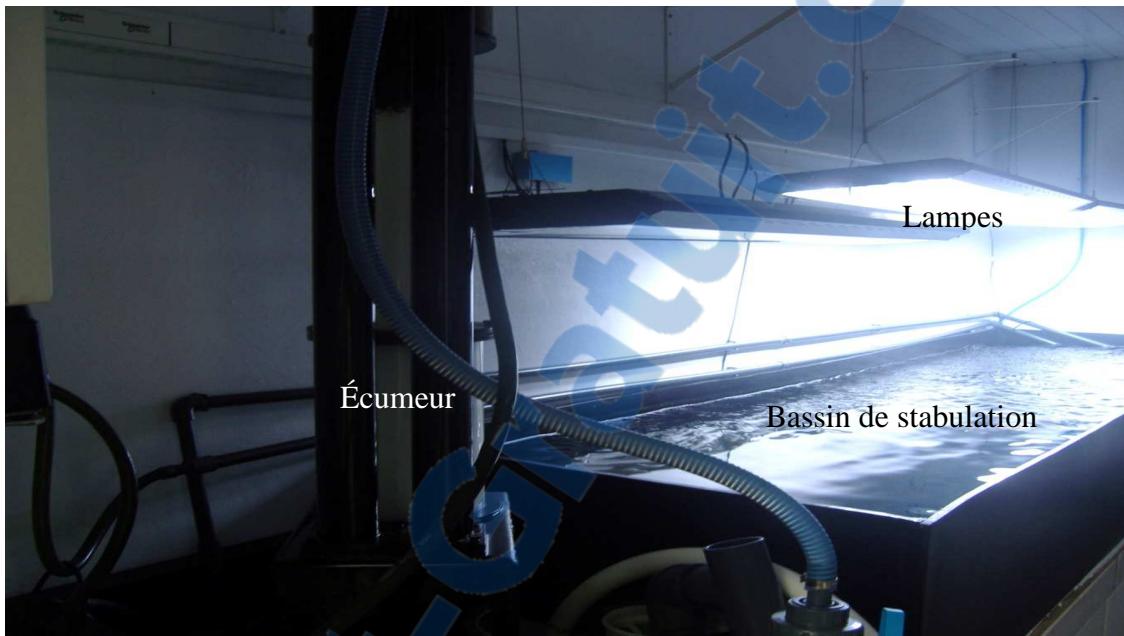


Photo 9 et 10, expérimentation du transport local : mise en place des bénitiers issus d'élevage dans le bassin de stabulation.

Photo 9



Photo 10



Photo 11 et 12, gastéropodes parasites des bénitiers :

Photo 11



Photo 12



Matériels pour l'expérimentation de réensemencement :

Photo 13 : grillade de protection des complexes

Photo 14 : roche avec supports

Photo 13



Photo 14



Photo 15 et 16, support coquille avec tube en PVC pour le lien avec la roche :

Photo 15



Photo 16



Déroulement de l'étude de réensemencement :

Photo 17 et 18, arrivée sur le site et mise en place des bénitiers dans l'eau :

Photo 17



Photo 18



Photo 19, mise en place des complexes dans les grillages de protection :

Photo 20, installation des bénitiers sur les supports :

Photo 19

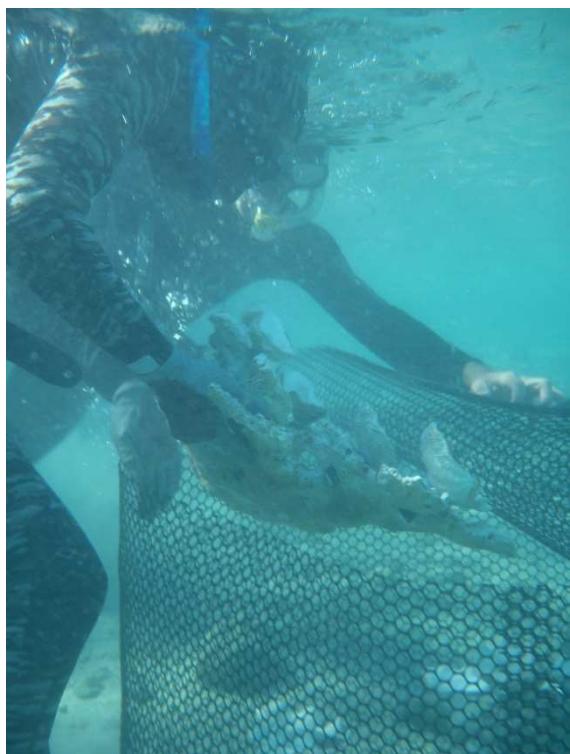


Photo 20



Site de réensemencement :

Photo 21 et 22 (Google Earth) et photo 23, site de réensemencement :

Photo 21



Photo 22

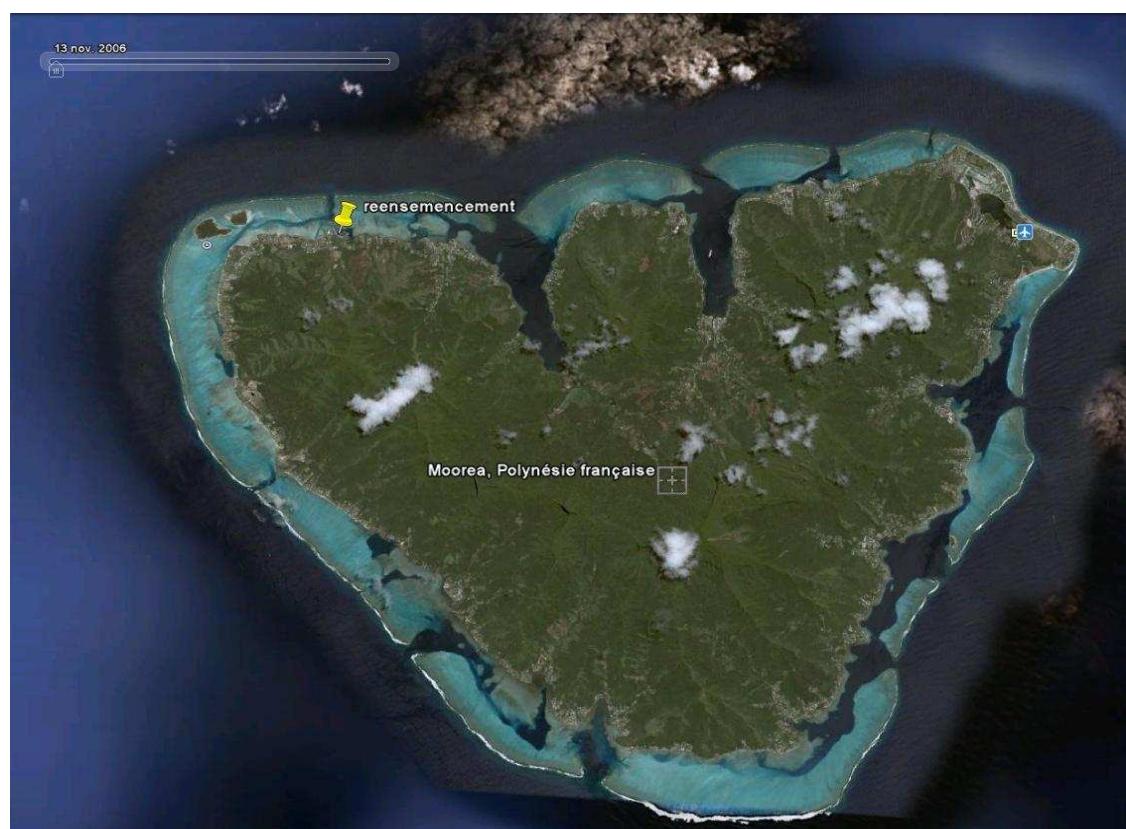


Photo 23



Source : <http://www.tahiti.com/images/htl-beachcomber/moz2006-aerial1-md.jpg>

Sonde d'analyses du milieu :

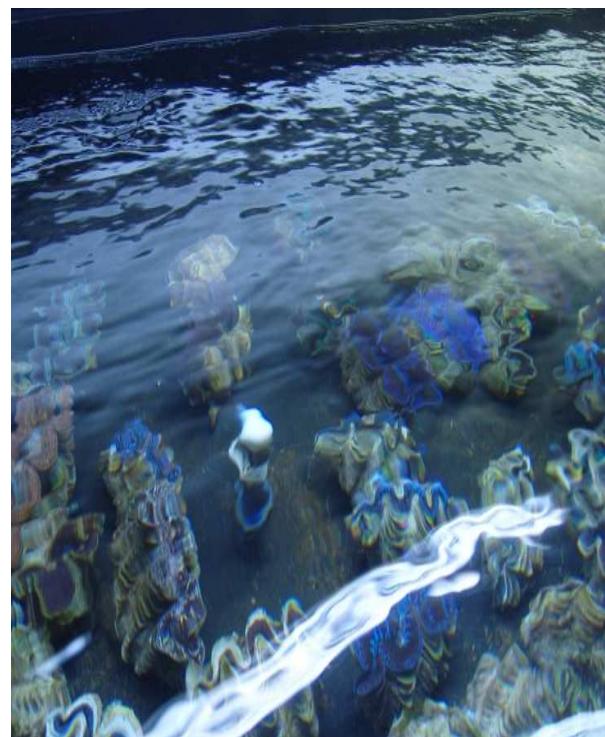
Photo 24, sonde d'analyse physico-chimique :

Photo 25, sonde d'analyse de l'intensité lumineuse :

Photo 24



Photo 25



Données brutes des analyses de transport local :

Tableaux 1, 2 et 3 : analyse des taux de survie totaux, et par niveau des bénitiers dans la glacière.

Tableau 1

Date de mortalité	Nombre bénitiers	suivi du lot
04/05/2010	105 BENITIERS (30 HAUT, 36 MILIEU, 39 BAS)/ 47 KG	0 MORT A L'ARRIVEE, TAILLE 12-13 CM
05/05/2010 J+1	102	3 MORTS (1 HAUT, 1 MILIEU, 1 BAS)
07/05/2010 J+3	95	7 MORTS (6 HAUT, 1 MILIEU)
10/05/2010 J+6	94	1 MORT (HAUT)
11/05/2010 J+7	93	1 MORT (BAS)
15/05/2010 J+11	92	1 MORT (BAS)
17/05/2010 J+13	91	1 MORT (MILIEU)
19/05/2010 J+15	90	1 MORT (HAUT)

Tableau 2

date de mortalité	Nombre bénitiers	suivi du lot
25/05/2010	156 BENITIERS (50 HAUT, 51 MILIEU, 55 BAS)/ 89 KG	0 MORT A L'ARRIVEE, TAILLE 12-13 CM
26/05/2010 J+1	149	7 MORTS (4 MILIEU, 3 BAS)
27/05/2010 J+2	145	4 MORTS (2 HAUT, 2 BAS)
28/05/2010 J+3	143	2 MORTS (1 HAUT, 1 BAS)
29/05/2010 J+4	142	1 MORT BAS
30/05/2010 J+5	141	1 MORT BAS
31/05/2010 J+6	137	4 MORTS (1 HAUT, 1 MILIEU, 2 BAS)
01/06/2010 J+7	135	2 MORTS (1 HAUT, 1 BAS)
02/06/2010 J+8	133	2 MORTS (1 MILIEU, 1 BAS)
03/06/2010 J+9		EXPE

Tableau 3

date de mortalité	Nombre bénitier	suivi du lot	
		O MORT A L'ARRIVEE, TAILLE 6-10 CM	
J+1	23-juin	212	2 MORTS: 1H 1B (LOT 2)
J+2	24-juin	212	0
J+3	25-juin	211	1 MORT B (LOT 3)
J+8	30-juin	211 MANIP	REENSEMENCEMENT
J+9	01-juil	150	1 MORT (LOT 3)
J+10	02-juil	150	0
J+11	03-juil	147	3 MORTS (2 LOT 4, 1 LOT 2)
J+12	04-juil	141	6 MORTS (2 LOT 4, 1 LOT 3, 3 LOT 2)
J+13	05-juil	136	5 MORTS (2 LOT 4, 1 LOT 3, 2 LOT 2)
J+14	06-juil	135	4 MORTS (1 LOT 4, 1 LOT 3, 2 LOT 2)
J+15	07-juil	131	4 MORTS (3 LOT 4, 1 LOT 2)
J+16	08-juil	128	3 MORTS (1 LOT 4, 2 LOT 3)
J+17	09-juil	128	0
J+18	10-juil	127	1 MORT LOT 3
J+19	11-juil	126	1 MORT LOT 3
J+20	12-juil	125	1 MORT LOT 2
J+21	13-juil	118	7 MORTS (4 LOT 4, 1 LOT 3, 2 LOT 2)

Tableau 4 : taux de survie totaux des bénitiers de chaque arrivage et taux moyen en fonction du nombre de jour de stabulation.

Tableau 4

	arrivage 16/03 59benitiers	arrivage 23/03 129benitiers	arrivage 4/05 105benitiers	arrivage 24/05 156benitiers	arrivage 22/06 214benitiers	MOYENNE
J+1	94,92	95,35	97,14	95,51	99,07	96,40
J+2	94,92	93,02	97,14	92,95	99,07	95,42
J+3	94,92	93,02	90,48	91,67	98,60	93,74
J+4	94,92	93,02	90,48	91,03	98,60	93,61
J+5	94,92	93,02	90,48	90,38	98,60	93,48
J+6	94,92	92,25	89,52	87,82	98,60	92,62
J+7	93,22	92,25	89,52	86,54	98,60	92,03
J+8	84,75	92,25	89,52	85,26	MANIP	87,94
J+9	79,66		89,52		99,34	89,51
J+10	79,66		89,52		99,34	89,51
J+11	79,66		88,57		97,35	88,53
J+12			88,57		93,38	90,97
J+13			87,62		90,07	88,84
J+14			87,62		87,42	87,52
J+15			86,67		84,77	85,72

Résultats des analyses statistiques :

Analyse du type d'isolation et du niveau des bénitiers dans la glacière :

Two Way Analysis of Variance

Normality Test: Failed (P < 0,050)

Equal Variance Test: Passed (P = 0,830)

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
niveau (H, M, B)	2	0,0213	0,0107	2,116	0,177
isolation (T/S)	1	0,0144	0,0144	2,851	0,126
niveau (H, M, B x isolation (T/S)	2	0,0292	0,0146	2,904	0,106
Residual	9	0,0453	0,00503		
Total	14	0,0951	0,00679		

The difference in the mean values among the different levels of niveau (H, M, B) is not great enough to exclude the possibility that the difference is just due to random sampling variability after allowing for the effects of differences in isolation (T/S). There is not a statistically significant difference (P = 0,177).

The difference in the mean values among the different levels of isolation (T/S) is not great enough to exclude the possibility that the difference is just due to random sampling variability after allowing for the effects of differences in niveau (H, M, B). There is not a statistically significant difference (P = 0,126).

The effect of different levels of niveau (H, M, B) does not depend on what level of isolation (T/S) is present. There is not a statistically significant interaction between niveau (H, M, B) and isolation (T/S). (P = 0,106)

Power of performed test with alpha = 0,0500: for niveau (H, M, B) : 0,184

Power of performed test with alpha = 0,0500: for isolation (T/S) : 0,220

Power of performed test with alpha = 0,0500: for niveau (H, M, B x isolation (T/S) : 0,289

Least square means for niveau (H, M, B) :

Group Mean

H 0,849

M 0,957

B 0,936

Std Err of LS Mean = 0,0397

Least square means for isolation (T/S) :

Group Mean SEM

T 0,875 0,0410

S 0,953 0,0205

Least square means for niveau (H, M, B x isolation (T/S) :

Group Mean SEM

H x T 0,733 0,0710

H x S 0,964 0,0355

M x T 0,944 0,0710

M x S 0,971 0,0355

B x T 0,949 0,0710

B x S 0,924 0,0355

Analyse du niveau des bénitiers dans la glacière et du nombre de packs de gel par glacière:

Two Way Analysis of Variance

General Linear Model (No Interactions)

Dependent Variable: taux de survie 2 semaines

Normality Test: Failed (P < 0,050)

Equal Variance Test: Passed (P = 1,000)

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
nombre gel packs	3	0,0196	0,00653	1,817	0,244
niveau (H, M, B)	2	0,00719	0,00360	1,000	0,422
Residual	6	0,0216	0,00360		
Total	11	0,0484	0,00440		

The difference in the mean values among the different levels of nombre gel packs is not great enough to exclude the possibility that the difference is just due to random sampling variability after allowing for the effects of differences in niveau (H, M, B). There is not a statistically significant difference (P = 0,244).

The difference in the mean values among the different levels of niveau (H, M, B) is not great enough to exclude the possibility that the difference is just due to random sampling variability after allowing for the effects of differences in nombre gel packs. There is not a statistically significant difference (P = 0,422).

Power of performed test with alpha = 0,0500: for nombre gel packs : 0,142

Power of performed test with alpha = 0,0500: for niveau (H, M, B) : 0,0502

Least square means for nombre gel packs :

Group Mean

0,838

4,000 0,821

3,000 0,915

2,000 0,812

Std Err of LS Mean = 0,0346

Least square means for niveau (H, M, B) :

Group Mean

H 0,812

M 0,866

B 0,862

Std Err of LS Mean = 0,0300